

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO

DIRECTOR: JOSÉ G. AGUILERA

EL POZO  
DE  
PETROLEO DE DOS BOCAS

ESTADO DE VERACRUZ

POR EL ING.

J. D. VILLARELLO



MEXICO

IMPRESA Y FOTOTIPIA DE LA SECRETARIA DE FOMENTO  
Callejón de Betlemitas núm. 8

—  
1909

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO

DIRECTOR GENERAL G. J. GONZALEZ

EL POZO

PETROLEO DE DOS BOCAS

ESTADO DE VERACRUZ

1900

J. D. VILLAREJO



MEXICO

IMPRESA Y ROTODUPLICA DE LA SECRETARIA DE FOMENTO  
Calle de las Artes 100

1900

## EL POZO DE PETROLEO DE DOS BOCAS<sup>1</sup>

POR EL

INGENIERO DE MINAS JUAN D. VILLARELLO

(Láminas I á XXVII)

A fines de Octubre de 1908 fué designado por el señor Director del Instituto Geológico Nacional, Jefe de la Comisión que nombró por acuerdo del señor Presidente de la República, para estudiar los fenómenos producidos en el pozo de petróleo llamado Dos Bocas, situado en el Cantón de Ozuluama del Estado de Veracruz. Para cumplir con tan honrosa misión en el menor tiempo posible, formé dos secciones con el personal de la Comisión nombrada. Los Sres. Prof. Jorge Engerrand y Fernando Urbina recorrieron la zona comprendida entre Pánuco, Ozuluama, Dos Bocas, Tantoyuca y Tempoal; el primero para buscar fósiles, con el objeto de precisar, si era posible, la edad de las capas neogénicas de esa región; y el segundo como ayudante del primero, y comisionado también para observar hasta qué distancia los gases que se desprenden del pozo de Dos Bocas, atacan al papel impregnado con acetato de plomo. La

1 Este pozo debe llamarse núm. 3 de San Diego de la Mar, pues en realidad no está en el lugar conocido con el nombre de Dos Bocas, lugar éste en donde más adelante se abrirá el verdadero pozo de Dos Bocas.

otra sección la constituimos el Sr. Ing. Trinidad Pa-  
redes y yo, quienes por la Laguna de Tamiahua fuimos  
directamente al pozo que motiva este informe, y allí  
permanecemos estudiando con detenimiento los fenó-  
menos que se verifican, y analizando los gases que se  
desprenden del pozo referido. De esta manera, la Comi-  
sión estudió en poco tiempo la geología de aquella zona  
y los fenómenos que actualmente se verifican en el pozo  
mencionado. Además, la misma Comisión ejecutó, como  
dije ya, numerosos análisis del agua y de los gases  
que salen del pozo, captando estos gases á diferentes  
distancias del lugar de su emisión, unas veces dentro  
de las corrientes del viento, y otras en diversas direc-  
ciones.

Terminadas ya todas las observaciones y análisis he-  
chos por la Comisión, me es honroso escribir ahora el  
siguiente estudio. Dividiré este escrito en cuatro partes,  
por ser cuatro también los puntos principales que some-  
tió la Superioridad al estudio de la Comisión. En la  
primera parte describiré la geología de aquella zona;  
en la segunda estudiaré los fenómenos ocurridos en el  
pozo Dos Bocas, del cual se desprenden gases deleté-  
reos; en la tercera parte me ocuparé de las obras enca-  
minadas á evitar los daños y peligros que ha ocasionado  
el pozo referido; y en la cuarta indicaré la conveniencia  
de continuar las obras emprendidas en ese pozo, y  
principalmente de continuar la exploración de aquella  
interesante zona petrolífera.

### Geología de la región

Muy pocos datos nuevos pudieron obtenerse ahora para precisar mejor la geología de la región, pues sólo fué encontrada por el Sr. Prof. Engerrand una impresión muy mala de Turrítella, en un cerro que domina á la pequeña ciudad de Ozuluama. Como se comprende, con ese fragmento es imposible determinar una edad geológica cuando se trata del Terciario. En vista de esto, me limitaré á copiar lo que escribí acerca de la geología de esta región, en el Boletín Núm. 26 del Instituto Geológico Nacional.

\* \* \*

Las faldas de la elevada sierra de Otontepec ó Tantina, descienden al Poniente para Tantoyuca, y por el Norte hacia Ozuluama hasta perderse en el lomerío que se extiende de estos lugares para el río Pánuco. (Véase lám. II.)

Del Sur para el Norte descienden de la sierra de Otontepec el arroyo Escribanillo, y los ríos Chila y Tamozus. Estos dos últimos se reúnen, y más abajo el río se llama Comales. A éste se reúne el arroyo Escribanillo, y después el río toma el nombre de Chicayán.

Al Poniente del río Chila, y descendiendo también de Sur á Norte, se encuentra el río Calabozo. Este río nace en la sierrita de Chicontepec, recibe como afluentes varios arroyos que descienden de las sierras de Huautla, Huejutla y Orizatlán, del Estado de Hidalgo; y pasa por Tempoal, desde donde el río toma este úl-

timo nombre. Más abajo y hacia el Norte se reúne el río anterior con el Moctezuma, que baja del Estado de San Luis Potosí, río que á su vez se reúne al Pánuco al Oriente de Tamuín, y al Sur-Poniente del Ebano.

Entre los ríos Chila y Calabozo se levanta un lomerío que llega á alcanzar 217 metros de altura sobre el nivel del mar y á esta altura, y en ese lomerío, se encuentra la villa de Tantoyuca, cabecera del Cantón del mismo nombre.

De Tantoyuca descende el terreno por todos lados. Por el Norte, hacia Mata de Tigre y la Cebadilla; al Norte-Oriente, para Pecero; al Este, para el río Chila; al Sur y Poniente, para el río Calabozo; y al Norte-Poniente, para Tempoal.

El lomerío anterior por el Oriente, y el de Chiconamel y Zacatianguis por el Oeste, limitan al valle que de Sur á Norte descende de la Puerta para Tempoal.

Entre los ríos Tempoal y Chicayán, así como entre este último y Ozuluama, hasta la laguna de Tamiahua, se extiende un lomerío que al Norte termina en el río Pánuco, y al Este en la laguna antes mencionada.

De la sierra de Otontepec ó Tantima para el Norte-Oriente se extiende un lomerío por San Jerónimo para el río Carbajal. Este último descende del Sur-Poniente hacia el Norte-Oriente, y desemboca en la laguna de Tamiahua. En la margen izquierda de este río y cerca de la laguna mencionada está el lugar conocido con el nombre de San Diego de la Mar, que es donde se halla el pozo llamado Dos Bocas. Al Norte de San Diego de la Mar se encuentra el lugar llamado Dos Bocas (véase lám. II), al Norte-Poniente está el cerro de Cucharas, y más adelante la villa de Ozuluama.

El carácter topográfico dominante de toda esta región es ligeramente ondulado, presentando varias eminencias de poca altura, y algunos macizos montañosos importantes que le dan un aspecto pintoresco. Por otra parte, llama la atención y debe mencionarse la amplitud de los fenómenos de erosión y transporte en toda esa región.

En los Cantones de Tantoyuca y Ozuluama del Estado de Veracruz, el descenso general del terreno es del Sur hacia el Norte, es decir, de las sierras Otontepec y de Chicontepec para el río Pánuco. En este descenso el terreno está cortado por los ríos que mencioné antes, y entre estos últimos se encuentran, ó los contrafuertes de las sierras mencionadas, ó el lomerío que se levanta al Sur del río Pánuco.

Las rocas que afloran en esta región son sedimentarias en su mayor parte: terciarias neogénicas, generalmente cubiertas por formaciones cuaternarias, al Norte, el Este y al Centro; neocretácicas al Sur-Poniente; y eruptivas basálticas al Sur-Oriente de la región.

Las capas cuaternarias están constituidas por arcilla, arena y grava, así como por aluviones de río que se extienden del Pánuco para el Sur y para el Este. Las capas anteriores son prácticamente horizontales, y se hallan en estratificación discordante con los estratos terciarios á los cuales cubren en gran extensión.

El Terciario está formado por capas de marga, de color gris ó gris azulado, plásticas ó duras, á veces apizarradas, que han sido cortadas por erosión y afloran principalmente en el río Tempoal, por el rancho del

Cristo. Intercaladas en las margas anteriores hay capas de arena suelta, y á veces areniscas arcillosas ó calcáreas.

Las margas anteriores están por lo general poco consolidadas, y se apoyan sobre calizas y areniscas, las cuales tienen rumbo variable entre 20° Norte-Poniente y 30° Norte-Oriente. Estos estratos forman pliegues suaves, y tienen muy pequeña pendiente general hacia el Sur-Este. Estas calizas y areniscas probablemente neocretácicas, afloran al Sur y Sur-Poniente de Tantoyuca, y están cubiertas por las margas grises ya mencionadas.

Las capas cuaternarias cubren en gran extensión, como he dicho, á las terciarias de esa localidad, pero el grueso de las primeras es pequeño, pues tanto en los cortes naturales, principalmente en los ríos Pánuco y Tempoal, como en las perforaciones que se han hecho en esa región, aparecen las capas terciarias á poca profundidad.

Las capas sedimentarias anteriores están cortadas y en parte cubiertas por las rocas basálticas que constituyen á la sierra de Otontepec, sierra conocida también con los nombres de San Juan ó Tantima. Allí se encuentran basaltos negros cubiertos en partes por tobas basálticas amarillentas. Estas rocas basálticas se extienden de San Juan por el Norte-Oriente para Tantima y Amatlán, y de San Juan por el Sur-Poniente para el Humo.

Más al Norte de esta región afloran los basaltos en los cerros llamados Tortuga, la Pez y los Pedernales; y más al Sur de esta región afloran también los basaltos en los cerros llamados Chapopote, los Horcones, etc.



En el croquis geológico de la lámina XXVII pueden verse las extensiones aproximadas que ocupan tanto el Cuaternario, como el Neógeno y el Neocretácico de esa región.

\* \* \*

Con excepción de la zona cercana del cerro de la Pez en el Ebano, son muy pocas las manifestaciones superficiales del petróleo del subsuelo en los Cantones de Tantoyuca y Ozuluama del Estado de Veracruz. Entre las pocas chapopoterías que se hallan en esta región citaré las siguientes: la de Pitahaya; la de Bejuco, cerca de Ozuluama; la de Comales, cerca de Pecero; y la de la Condesa, al Sur-Este y cerca de Tantoyuca. Todas estas chapopoterías son de poca importancia industrial, y ese chapopote es muy viscoso.

Además de las chapopoterías anteriores se hallan en esta zona las de San Jerónimo y Palo Blanco, chapopoterías éstas que juntas con las de Tangüijo, San Sebastián y San Marcos, las he considerado como pertenecientes á la región petrolífera de Tuxpan.<sup>1</sup> (Véase la lámina XXVII en la cual están las regiones petrolíferas del Ebano, Tantoyuca y una parte de Tuxpan, conforme á la división que hice en el Boletín ya mencionado.) Entre las chapopoterías de San Jerónimo debo citar las que se encuentran muy cerca de los pozos núms. 2 y 4 de San Diego de la Mar. En la lámina XXVII puede verse la posición que ocupan estas chapopoterías con respecto á las muy interesantes del Ebano, situadas en la región

---

<sup>1</sup> J. D. Villarelo. Algunos regiones petrolíferas de México. Bol. 26. Instituto Geológico de México. Pág. 59.

de este nombre, y también con respecto á las muy importantes de Chapopote y Cerro Azul, que se hallan en la región petrolífera que he llamado de Tuxpan.

En los lugares llamados el Cristo, San Juan, los Venados y Tancanzahuela se halla la grahamita rellena de grietas más ó menos irregulares, abiertas en las areniscas y margas, y á veces forma lentes situadas entre las caras de separación de estos estratos. Afloran las grietas rellenas con grahamita, principalmente en la margen izquierda del río Tempoal, y también en el río Capadero y los arroyos llamados: los Venados, San Juan y Tancanzahuela.

En la Huasteca Veracruzana se ha confundido á la grahamita con el carbón betuminoso de la mejor calidad; y por esto se ha llamado región carbonífera á la que se extiende de Huejutla, por Platón Sánchez, para Tantoyuca. Pero esto no es exacto, pues tanto la manera de yacimiento en grietas y no en mantos, como la composición y propiedades de ese hidrocarburo, que se funde y se hace viscoso al calentarlo, son pruebas evidentes de que no se trata de un carbón, sino de un chapopote duro, el cual es de un origen muy distinto del que tiene el carbón. En efecto, la grahamita es el resultado de la oxidación ó sulfuración del chapopote, compuesto que al enriquecerse en oxígeno ó en azufre y al perder hidrógeno, pasa de fluido á viscoso; y después, si la oxidación ó la sulfuración continúan, se endurece hasta llegar á convertirse en una grahamita ó en un chapopote duro. La composición de estos chapopotes duros varía con el grado de oxidación ó de sulfuración alcanzado; y á esto es debido el que se les apliquen distintos nombres, como son los de grahamita y alber-

tita, nombres que no designan especies minerales, sino únicamente distintos grados de oxidación de los hidrocarburos que constituyen á los chapopotes fluidos.

El chapopote puede oxidarse ó sulfurarse en las grietas ó conductos en general, por donde emigra de la profundidad hasta la superficie del terreno, y también en esta superficie. En el primer caso, al endurecerse el chapopote por oxidación ó sulfuración lenta, rellena las grietas por las cuales se verifica su circulación subterránea, y forma vetillas de grahamita; en el segundo caso, el chapopote oxidado y endurecido se encuentra en forma de lentes, situadas á veces abajo de los aluviones.

En la región de que me ocupo conocí en 1902 como única perforación en esa época, la llamada Ojo de Brea. Esta perforación se halla al pie de la loma Tambacán, en terrenos de Tamelul; tiene, según informes, 300 metros de profundidad, su sección circular es de catorce centímetros de diámetro; y cuando la visité no producía ninguna clase de chapopote, ni se podía ver si existe éste á la profundidad alcanzada por la perforación, por estar este pozo completamente azolvado.

A la perforación anterior debo agregar las que ha abierto recientemente la Pennsylvania Oil Co. en San Diego de la Mar, y que se conocen con los nombres de Pozo núm. 2, Pozo núm. 3 y Pozo núm. 4. (Lám. III.) El Pozo núm. 3 es el llamado ahora de Dos Bocas. De estas tres perforaciones, que se encuentran todas casi al nivel del mar, pude obtener los siguientes datos que me fueron proporcionados por el Sr. Ing. C. Ganahl.

*Pozo núm. 2 de San Diego de la Mar. Lám. I.*

Profundidades.	Rocas cortadas y sustancias encontradas.
A los 4½ metros.....	Arena y guijarros.
„ „ 11 „ .....	Arcilla.
„ „ 20 „ .....	Marga gris suave.
„ „ 27 „ .....	Marga gris dura.
De los 27 á los 71½ metros.....	Marga gris suave.
A los 71½ metros.....	Marga con chapopote.
„ „ 101 „ .....	Marga.
„ „ 107 „ .....	Marga dura.
„ „ 133½ „ .....	Marga.
„ „ 134 „ .....	Marga dura.
„ „ 159 „ .....	Marga.
„ „ 180 „ .....	Poco chapopote.
„ „ 205 „ .....	Marga.
„ „ 205½ „ .....	Chapopote y gases combusti- bles.
„ „ 330 „ .....	Marga dura.
„ „ 338 „ .....	Caliza.
„ „ 548 „ .....	Gases y poco chapopote.
„ „ 556 „ .....	Marga.
„ „ 578 „ .....	Marga y algo de pirita.
„ „ 591 „ .....	Chapopote y agua sulfurosa.
„ „ 602 „ .....	es la profundidad total del pozo.

*Pozo núm. 3 de San Diego de la Mar ó Pozo Dos Bocas*

Profundidades.	Rocas cortadas y sustancias encontradas.
De la superficie á los 67 metros.	Arcilla y margas.
A los 67 metros .....	Chapopote.
„ „ 243 „ .....	Gases combustibles.
„ „ 261 „ .....	Aumentó la cantidad de gas.
„ „ 265½ „ .....	Chapopote y gases.
„ „ 547 „ .....	Pizarra arcillosa.
„ „ 550 „ .....	profundidad total del pozo, chapopote fluido brotante y gran cantidad de gases com- bustibles.

En el Pozo núm. 4 de San Diego de la Mar se encontró chapopote acompañado de gases combustibles, á las siguientes profundidades: 71, 292 y 430 metros. Esta última es la profundidad total de este pozo. (Lám. VI).

Por los datos anteriores se ve que los tres pozos mencionados cortaron arcillas y margas, á veces plásticas y otras apizarradas y duras; y que se encontró chapopote acompañado de gases combustibles á las siguientes profundidades:

Profundidades.	Pozos.
Entre los 67 y 71½ metros .....	Nº 2, Nº 3, Nº 4.
A los 180 metros.....	Nº 2.
„ „ 205½ „ .....	Nº 2.
„ „ 265½ „ .....	Nº 3.
„ „ 292 „ .....	Nº 4.
„ „ 430 „ .....	Nº 4.
„ „ 548 „ .....	Nº 2.
„ „ 550 „ .....	Nº 3.
„ „ 591 „ .....	Nº 2.

estando la boca de todos estos pozos al mismo nivel.

Esta región petrolífera, que es la prolongación al Sur y Sur-Este de las regiones de Tancasnequi y del Ebano, es comparable con estas últimas regiones, y en general con todas las del Estado de Veracruz, en lo que se refiere á la distribución del chapopote en el subsuelo. En efecto, parece que todos los receptáculos petrolíferos subterráneos cortados hasta ahora por las perforaciones, no son primarios sino secundarios, es decir, que el chapopote no se formó en las capas cortadas, sino que se acumuló en ellas el petróleo ya resinificado que caminó por grietas, ascendiendo desde los receptáculos primarios hasta encontrar lugares apropiados para su

acumulación. Estos últimos lugares fueron principalmente: los tramos porosos de las rocas, los espacios vacíos existentes entre las caras de separación de los estratos, y también las grietas por las cuales emigró el petróleo y se resinificó.

Por los datos obtenidos con las perforaciones hechas en las regiones petrolíferas del Estado de Veracruz; y por las razones que he mencionado en el Boletín número 26 del Instituto Geológico de México, puede decirse que: en todas esas regiones los receptáculos petrolíferos subterráneos tienen la forma de vetillas, ó de venas, ó de lentes aplastadas relativamente de pequeñas dimensiones por lo general; y que estas lentes están diseminadas en una gran extensión de terreno, y se hallan también muy diseminadas á la profundidad.

#### Fenómenos ocurridos en el pozo Dos Bocas

Al tratar de describir y estudiar todos los fenómenos, científicamente muy interesantes, que han acaecido en el pozo Dos Bocas, tropiezo con la grandísima dificultad de no poder obtener buenos datos de observación. En efecto, desde que comenzó el incendio en el pozo á que me refiero, en la prensa de México y en otras publicaciones del país y extranjeras, han aparecido descripciones muy exageradas de ese pozo, exageraciones que se desprenden de los mismos aunque muy escasos datos de observación proporcionados por las referidas publicaciones. En vista de esto, y como muchos de esos fenómenos no dejaron huellas que pudieran servir ahora para juzgar de la importancia é intensidad de esos hechos, me veo obligado á decir, á los que deseen cono-

cer una descripción de esos fenómenos, que: no tienen hasta ahora más elementos de información que los proporcionados por las publicaciones referidas, con datos que yo creo exagerados, pero que podrán ser exactos, aunque deficientes. De todos esos hechos que considero ya como históricos, sólo puedo decir yo lo siguiente:

En el lugar llamado San Diego de la Mar, situado en el Cantón de Ozuluama del Estado de Veracruz, á 720 metros de distancia al Norte de la margen izquierda del río Carbajal (véase lám. III), la Pennsylvania Oil Co. y la casa S. Pearson & Son, abrieron, entre otros, el pozo núm. 3 de San Diego de la Mar. Este pozo indebidamente se ha llamado después Dos Bocas, pues el lugar de este último nombre está situado á cuatro kilómetros al Norte de San Diego de la Mar. (Véanse láms. II y XXVII). La perforación anterior cortó, como dije en otro lugar, margas y arcillas de color gris ó gris azulado, á veces plásticas, y otras apizarradas y duras; y encontró: á los 67 metros, chapopote; á los 243, gases combustibles en pequeña cantidad; á los 261, aumentó la cantidad de gas; y á los 750 metros de profundidad, el pozo fué brotante (gusher). El chapopote se elevó á cierta altura sobre la boca del pozo, debido principalmente á la presión de los gases que en gran cantidad lo acompañaban en su emisión. Tan pronto como el pozo fué brotante, el chapopote se incendió, fenómeno que atrajo hacia ese lugar á multitud de visitantes, y motivó que el cable se ocupara en transmitir la noticia por todo el mundo. El incendio comenzó el 4 de Julio de 1908, y terminó el 30 de Agosto del mismo año.

Durante el tiempo antes indicado fué mucha la cantidad de chapopote que brotó por el pozo, sin que me

atreva yo á indicar cifras que representen la producción total, ni la producción diaria del pozo en esa época, por falta de buenos datos é informaciones exactas.

Al comenzar á brotar el chapopote arrojó una gran parte de la tubería del mismo pozo, la de 10 centímetros de diámetro, y se dice que desde luego el chapopote llegó al hogar de la caldera que estaba encendida, y que no se retiró desde luego como debe hacerse en estos casos. Por este motivo comenzó el incendio según se dice, y el cual no pudo apagarse por ninguno de los medios puestos en práctica, sino que terminó como debía esperarse y ya se había previsto. En efecto, el incendio concluyó al comenzar el régimen intermitente del pozo. En las primeras intermitencias en la emisión de chapopote y gases combustibles, por falta de materias que se incendiaran en esos momentos,<sup>1</sup> la combustión terminó repentinamente. Entonces estaba ya concluída la instalación de las nuevas bombas, con las cuales se proyectaba arrojar en el pozo incendiado, agua y arena en mucha mayor cantidad que la arrojada por las bombas que antes se habían empleado; pero se verificaron, como dije ya, intermitencias en la salida del chapopote, y sin usar las nuevas bombas el incendio terminó repentinamente.

El incendio no se propagó de manera muy notable por los alrededores del pozo, y muy poco sufrió la vegetación cercana, como puede verse en las láminas V, VI, XIII, XIV, XV, XX, XXIII y XXIV, que son fotografías tomadas por mí, á fines de Noviembre de 1908, de las cercanías del pozo Dos Bocas.

---

<sup>1</sup> También por la presencia de gran cantidad de anhídrido carbónico, como indicaré más adelante.



Por las razones que indicaré después, alrededor del pozo mencionado se han verificado hundimientos que comenzaron durante el incendio, y que entonces originaron un ensanchamiento de la superficie por la cual se hacía la emisión del chapopote y de los gases que lo acompañaban. Este hundido fué llamado desde entonces con toda impropiedad "cráter Pearson," y digo que fué impropio designarlo con el nombre de cráter, porque la formación de esa cavidad no está en relación alguna con el volcanismo. Por lo tanto, yo no puedo designar con el nombre de cráter á esa depresión, sino que la llamaré simplemente, el hundido de San Diego de la Mar.

Durante el incendio, época muy interesante para los estudios científicos, aunque de ningún valor comercialmente hablando, pues todo el chapopote fué perdido, se publicaron muchos datos relativos á producción del pozo brotante incendiado; pero según parece no se descontó en algunos de esos cálculos la gran cantidad de gases que acompañaban al chapopote en su emisión, gases que en los cálculos aumentaron considerablemente la supuesta producción de chapopote; y parece también que en otros cálculos se consideró como altura á la cual llegaba el chapopote, la altura total que alcanzaban las flamas en ese incendio. Todo esto puede explicar por qué se llegaron á obtener con esos cálculos de producción cantidades de chapopote tan exageradas tal vez, como inverosímiles.

De este período de emisiones por el pozo Dos Bocas sólo queda una huella: las gotas de chapopote arrojadas por los gases hasta una distancia horizontal de trescientos metros del pozo, se revelan ahora por man-

chas negras en los troncos y hojas de los árboles, sobre todo al Poniente del pozo Dos Bocas.

Las diferentes fases del incendio mencionado no las puedo describir por falta de datos exactos; sin embargo, y sin conocer esos datos, puedo decir como muy probable que: la producción de gases y de chapopote, considerable en los primeros momentos del incendio, fué disminuyendo á medida que el tiempo transcurría; y al comenzar el régimen intermitente del pozo, la producción debe haber sido mucho menor que al comenzar á ser brotante el mencionado pozo.

Al iniciarse el régimen intermitente del pozo Dos Bocas comenzó la emisión de agua caliente y gaseosa, agua que arrastra arcilla y chapopote. Desde la aparición del agua caliente, al establecerse el régimen intermitente del pozo, considero que comenzó el segundo período de emisiones, período que se prolonga hasta la fecha.

\* \*

Durante el segundo período de emisiones por el pozo Dos Bocas, ha salido mucha agua salada, gaseosa y caliente, acompañada de gases y de vapor de agua. Esta agua arrastra chapopote y lleva en suspensión arcilla que transporta del interior para la superficie del terreno, en donde se ha depositado llenando la depresión que existía al Este del pozo mencionado. (Véanse láminas III, V y VI).

Los datos que se han publicado relativos á la producción del chapopote durante este segundo período, son muy exagerados por las razones que indicaré más adelante; y también son exagerados, aunque relativa-

mente no tanto, los datos que se refieren á cantidades de agua y de arcilla que han salido por ese pozo.

Al comenzar este segundo período de emisiones, la Compañía explotadora que había perforado el pozo, procuró hacer la captación del chapopote que continuaba saliendo, y que junto con el agua se dirigía por el río Carbajal para la laguna de Tamiahua. Estas obras de captación servían además para evitar que el agua lodosa se dirigiera al río que acabo de mencionar, el cual se habría azolvado por completo, sobre todo en su desembocadura. Para conseguir el doble objeto ya indicado, y con ayuda del Batallón de Zapadores, se construyeron varios bordos, y un dique de 200 metros de largo, por 15 de grueso y 8 de altura. (Véanse láms. III y XXIII). Este dique se hizo con tierra y troncos de árbol; pero no duró completo más de unas cuantas horas,<sup>1</sup> pues se represó el agua y lo rompió por su extremo Norte, marcado con la letra A en las láminas XIII y XXIII. Por esta brecha (véase lám. XXIV) sale ahora el agua del hundido que he llamado de San Diego de la Mar (lám. III) y desciende por el arroyo que se dirige hacia el lugar conocido con el nombre de Dos Bocas (véanse láms. XIII y XIV), situado en la orilla de la laguna de Tamiahua. (Véanse láms. II y XXVII).

Al ejecutar las obras anteriores se empezó á observar que los gases que con el agua salen por el pozo mencionado, son nocivos y aun venenosos. Las monedas de plata se ennegrecen, la pintura blanca hecha con albayalde se ennegrece también, las pinturas hechas con compuestos de plomo ó cobre cambian de color por la

---

1. Según informes que me proporcionaron en el lugar.

acción de los gases que se desprenden del pozo, y estos cambios de coloración se observan hasta Ozuluama, población situada á mucha distancia del pozo mencionado. (Véase lám. II). Se observó después: que las aves mueren instantáneamente al pasar arriba del hundido de San Diego de la Mar; que la gente que trabajaba en las cercanías de este hundido padecía conjuntivitis, laringitis ó asfixias, experimentaba alguna molestia en la mucosa de la nariz, y le dolía la cabeza y á veces el estómago. Por último, murieron dos hombres y unas mulas por la acción venenosa de los gases; y desde entonces, en vista de esos hechos ciertos, pero sin conocer la composición exacta de los referidos gases, se creyó fundado decir que: toda esa región es mortífera, y nadie puede penetrar á ella sin poner su vida en peligro eminente.

No solamente se dijo lo anterior, sino que se agregaba: que cualquier día se incendiaría de nuevo el pozo; que la pesca en la laguna de Tamiahua se estaba perjudicando mucho, pues las aguas venenosas que salen por el pozo estaban matando á los peces en una gran extensión de esa laguna; que el tráfico por esta última se estaba dificultando mucho, porque el chapopote la estaba cubriendo, y esto impedía la navegación y era además un peligro de incendio. Por último, llegó á creerse que un volcán se estaba formando allí, y llegó á asegurarse que se desprendían en ese lugar vapores mercuriales, que atacaban á la dentadura, y ocasionaban cólicos agudos y perturbaciones cerebrales.

Las noticias anteriores, unas muy exageradas y otras completamente falsas, se divulgaron con rapidez, y desde luego la alarma cundió por todo el Cantón de Ozu-

luama, se retiró de la región al Batallón de Zapadores, la Compañía explotadora comenzó á tropezar con dificultades para obtener trabajadores, y muchos designaban aquella región como mortífera, de límites desconocidos, pero que se suponían muy extensos.

En vista de lo anterior el señor Presidente de la República acordó que una Comisión estudiara esa zona, y dictaminara acerca de los fenómenos que se están verificando en el ya muy célebre pozo de Dos Bocas. Para satisfacer este acuerdo, tramitado por la Secretaría de Fomento, el señor Director del Instituto Geológico de México nombró, como dije ya, una Comisión para que estudiara los fenómenos mencionados. Esta Comisión fué desde luego á Dos Bocas contenta y satisfecha, porque ese nombramiento la distingue y la honra; y fué tranquila, pues tenía razones suficientes para creer que no encontraría allí, como en realidad no encontró, más compuestos nocivos que: el anhídrido carbónico (ácido carbónico), el hidrógeno sulfurado (ácido sulfhídrico), y algunos de los productos de oxidación de este último; compuestos que son transformados fácil y rápidamente en substancias inofensivas para la salud, por el amoníaco en solución diluída, y por la solución diluída de sales de cobre amoniacales. Por esta razón, los comisionados no nos presentamos en el pozo de Dos Bocas provistos de escafandras y bolsas de oxígeno; sino con pañuelos empapados con solución amoniacal diluída, cuando estábamos en lugares donde había poca cantidad de gases; y con pañuelos constantemente humedecidos con una solución diluída de una sal de cobre amoniacal, cuando teníamos que estar en la zona de verdadero peligro. Esos pañuelos cubrían la nariz y la boca, obli-

gando así al aire que se aspiraba á ponerse previamente en contacto con las soluciones diluídas mencionadas. De esta manera, el anhídrido carbónico se transformaba en carbonato de amoníaco que es inofensivo; y el hidrógeno sulfurado se transformaba en sulfuro de cobre que es también completamente inofensivo.<sup>1</sup>

Con el preventivo anterior, la Comisión muchas veces entró y permaneció en la zona de mayor peligro durante todo el tiempo que fué necesario para hacer observaciones y análisis de los gases; y estuvo en la zona de eminente peligro acompañada por muchachos (véase lámina XXVI) que le ayudaban á llevar los aparatos necesarios para hacer los análisis referidos. Ninguno sufrió absolutamente nada en su salud, ni de los ojos, pues siendo volátil el amoníaco impidió también la acción nociva de los gases sobre la conjuntiva. Después de ver los resultados anteriores, la Compañía explotadora comenzó á usar el amoníaco y la cal, conforme á mis instrucciones, las cuales indicaré en este estudio más adelante.

Por este medio tan sencillo como económico se habrían evitado todas las enfermedades y desgracias ocasionadas por los gases antes mencionados; y haciendo uso de esos preventivos creo que pronto pasará al olvido el nombre de región mortífera exageradamente aplicado á toda esa zona, y de esta manera se salvará esa región de la muerte comercial. Los capitalistas y los trabajadores pueden ir á esa región, á explorar el petróleo del subsuelo, sin preocuparse de los fenómenos

---

<sup>1</sup> Tanto el carbonato de amoníaco como el sulfuro de cobre son inofensivos por las vías respiratorias.

pasajeros producidos por unos gases, cuya acción nociva sobre el organismo puede evitarse en caso necesario con gran facilidad.

\* \*

Con las precauciones antes mencionadas, y con toda la calma y tranquilidad necesarias, estuvimos muchas veces dos de los miembros de la Comisión en todo el borde del hundido de San Diego de la Mar. Este hundido está ahora lleno de agua (véanse láms. VII y IX), y en su parte central se verifican con intermitencias las emisiones de gases, vapor de agua, y agua caliente y gaseosa que arrastra al chapopote, y lleva en suspensión alguna cantidad de arcilla.

El hundido tiene actualmente una forma más ó menos circular, de 300 metros de diámetro aproximadamente (véase lám. III), y de profundidad desconocida, sobre todo en el centro de la depresión. De la superficie del terreno hasta el nivel del agua contenida en el hundido, hay una distancia que varía entre uno y diez metros, en distintos puntos del borde del mismo hundido. (Véanse láminas IX, XIV y XXIV). El terreno en que se encuentra este último está constituido por arcilla amarillenta, la cual tiene intercaladas á veces capas delgadas de arena suelta.

Casi en el centro del hundido mencionado, y antes de que el terreno descendiera, se perforó el pozo núm. 3 de San Diego de la Mar. (Véase lám. III). Muy cerca de este pozo, y hacia el Oriente, existía, como dije ya, una gran depresión que se extiende de Poniente á Oriente, depresión que, según noticias, estaba antes casi seca durante todo el año. En esta depresión se ha ido depo-

sitando la arcilla que trae en suspensión el agua que brota en el hundido; y aquella antigua depresión es ahora una ciénaga (láms. V y VI), llena de un lodo muy suave, constituido por agua, arcilla y muy poco chapote. Este depósito de lodo suave tiene varios metros de espesor, casi siempre más de tres, y ocupa una extensión muy grande, mucho más de un kilómetro y sobre 500 metros de ancho.

En la parte central del hundido de San Diego de la Mar, al verificarse las emisiones, brota el agua lodosa y se levanta impulsada por los gases que la acompañan. Así se forma una prominencia (véase el lugar A en las láminas VII y VIII), á veces de 8 á 10 metros de diámetro por 3 ó 5 de altura. Desde luego aquella agua lodosa, en el lugar de su emisión, queda envuelta por una nube de vapor de agua, que se eleva y sigue después la dirección del viento que sopla en aquellos momentos. En la misma dirección que el vapor de agua, pero invisibles y sin elevarse como ese vapor, sino en su mayor parte extendiéndose por la superficie del terreno, se alejan los gases emitidos también, y que son: el anhídrido carbónico (ácido carbónico), y el hidrógeno sulfurado (ácido sulfhídrico), compuestos gaseosos más densos que el aire. En efecto, considerando como unidad el peso específico del aire, el del hidrógeno sulfurado es 1.191, y el del anhídrido carbónico es 1.529.

Las emisiones periódicas del agua se verifican aproximadamente como sigue:

Se levanta primero un borbotón de poca altura, por lo general unos cuantos centímetros, y esto produce en el agua del hundido un oleaje pequeño (véase lám. XI). A este primer borbotón siguen inmediatamente dos ó



tres de mayor altura, después uno bastante grande, y luego siguen varios pequeños, con lo cual termina una serie de emisiones. A veces el primer borbotón es el más alto, el más notable, y el que produce el oleaje más fuerte, y son de corta altura y poca intensidad los otros borbotones que completan la serie. Terminada una serie de emisiones sigue un período de calma relativa ó completa. Es decir, ó los borbotones son insignificantes, casi imperceptibles (láms. IX y XI), ó no se elevan borbotones durante este intervalo (lám. XIV), sino que el agua del hundido queda enteramente tranquila. En estos momentos el hundido se asemeja á una pequeña laguna con agua clara en el centro, y con una delgada tela de chapopote en una corona circular que se extiende hasta las paredes de la depresión. (Lám. XV).

La duración de una serie de emisiones varía, pero por lo general es de cuatro á ocho minutos; y el intervalo de calma relativa ó completa varía también generalmente entre uno y quince minutos. En cada serie de emisiones es muy variable la altura mayor que alcanza el agua al brotar: por lo general esta altura es de uno á dos metros, pero otras veces es de cuatro y de cinco metros. Estas emisiones de agua no se verifican siempre en el mismo lugar sino en distintas partes de la zona central del hundido, y á veces se levantan los borbotones en esta zona siguiendo líneas de dirección variable.

La irregularidad en el régimen intermitente del pozo Dos Bocas, origina variaciones en las cantidades de agua, chapopote, gases y arcilla, que diariamente salen por ese pozo.

Los gases antes mencionados, juntos con el vapor de agua, sólo salen en cada serie de emisiones de agua

lodosa. Según esto, á medida que esas emisiones son menos frecuentes, es menor la cantidad emitida de los gases mencionados. Además, á medida que la velocidad del viento es mayor, el desalojamiento y difusión de estos gases es más fácil y rápida. Por lo tanto, no siendo la emisión de estos gases en cantidad constante en cualquier momento, y no siendo siempre igual la velocidad con la cual el viento desaloja á los mismos gases y activa su difusión, la cantidad de estos últimos en la unidad de aire tampoco será constante en todo tiempo. Por otra parte, dentro de la corriente del viento hay mayor cantidad de gases que en cualquiera otra dirección, si se comparan en el mismo momento puntos situados á distancias iguales del lugar de emisión de los referidos gases. Según lo anterior, y como la dirección del viento es variable en el mismo día, la cantidad de gases contenida en el aire en un mismo lugar, varía mucho en el mismo día, según varía también la dirección y velocidad del viento. Todo lo anterior fué comprobado por los muchos análisis de gases que hice, en compañía del Sr. Ing. Trinidad Paredes, en distintos lugares del borde del hundido San Diego de la Mar, y también á diferentes distancias de esta depresión. Los resultados de estos análisis los indicaré más adelante.

En las primeras horas de la mañana, hasta las 9 ó las 10, la cantidad de vapor de agua que se desprende en el hundido de San Diego de la Mar, es considerable. (véanse láms. X y XII) cerca del mediodía esa cantidad es muy pequeña (láms. XI y XIII), y á esas horas no hay vapor de agua en el hundido, durante los períodos de calma comprendidos entre dos emisiones (véase lámina IV) ; y después, en la tarde y noche vuelve á aumentar

la cantidad de vapor que se desprende de la referida depresión.

En cada serie de emisiones brotan, según cálculos, entre 100 y 300 metros cúbicos de agua; y al moverse esta última en la superficie circular del hundido lleno del mismo líquido, produce un oleaje fuerte, lo cual ocasiona un ruido semejante al del mar intranquilo, y este ruido se repite en cada emisión de agua.

El oleaje producido en cada emisión de las ya mencionadas (véanse láms. VII, XI y XVII), se extiende hasta las paredes del hundido contra las cuales golpea. Este choque continuado corroe las paredes que limitan á la depresión, las mina á la altura que alcanza el agua dentro de la misma depresión; y entonces el terreno falto de apoyo comienza á agrietarse en la superficie, y después se derrumban grandes pedazos, que al caer en la depresión aumentan la superficie superior de esta última. Así, el hundido va ganando en superficie lo que pierde en profundidad.

El agua sale de la depresión mencionada por la brecha que abrió en el dique levantado por el Batallón de Zapadores (parte A de las láms. XIII y XXIII), y pasa para la ciénaga situada al Este del mismo hundido. (Láminas III, XIII y XIV). En esta ciénaga el curso del agua es divagante: pasó primero hacia el Sur-Este para el río Carbajal, y ahora camina hacia el Norte para Dos Bocas, y entra luego en la laguna de Tamiahua. Como esta agua lleva arcilla en suspensión, se va depositando este material en el trayecto que sigue el agua, lo cual ocasiona una elevación del terreno en esos lugares, y por consiguiente un cambio en el camino de las aguas. Esto explica por qué es actualmente divagante el actual

arroyo de Dos Bocas, el cual está alimentado únicamente por el agua que brota en el hundido que he llamado de San Diego de la Mar.

El agua que brota en el hundido mencionado, contiene en disolución anhídrido carbónico é hidrógeno sulfurado. Al pasar por la brecha abierta en el dique (lámina XXIV), el agua tiene  $69^{\circ}$  C. de temperatura, y lleva en disolución: 0.590 gramos de anhídrido carbónico, y 0.142 gramos de hidrógeno sulfurado por litro de agua. Estos gases disueltos en el agua, se separan de ella poco á poco, sobre todo el anhídrido carbónico, como puede observarse en la ciénaga mencionada, pues se ven desprenderse allí del agua burbujas de gas. Esto ha hecho creer á muchas personas que el agua está hirviendo en ese lugar, lo cual no es cierto, pues su temperatura, como dije antes, sólo es de  $69^{\circ}$  C. Estos gases, que allí se desprenden, son más pesados que el aire, y por lo tanto forman una capa invisible colocada sobre la superficie del agua, y que el viento desaloja. Según esto, el desprendimiento de los gases mencionados se verifica no solamente en el lugar donde brota el agua, sino también, aunque en mucha menor cantidad, en toda la superficie que ocupa el agua en el hundido y en el arroyo mencionado.

Como dije antes, el agua que brota en el hundido trae en suspensión arcilla en cantidad muy variable de un momento á otro, y de un día al siguiente. En efecto, después de algunas emisiones, el agua que pasa por la brecha ya mencionada (lám. XXIV) es muy lodosa, y después de otras emisiones pasa el agua casi clara por ese mismo lugar. Sin embargo, se ha observado ya, y pudimos comprobarlo durante el tiempo que estuvimos

en ese lugar, que la cantidad de arcilla que por total arrastra el agua en un día, va siendo cada vez menor. Actualmente puede decirse que cada litro de agua arrastra en promedio, como 50 gramos de arcilla.

Además de la arcilla, el agua caliente arrastra al chapopote de la profundidad hacia la superficie del terreno. Ese chapopote, flotando en el agua, sigue en la superficie del terreno el mismo camino que esta agua. Así, se extiende en zonas circulares concéntricas, como el oleaje, hasta llegar á las paredes del hundido. (Lámina XV). El chapopote sale de esta depresión por el mismo lugar que el agua caliente, es decir, por la brecha del dique varias veces mencionado. (Véase el lugar A de las láms. XIII y XXIII).

Al verificarse las emisiones de agua, vapor y gases, se produce el oleaje en el agua que llena el hundido. Este oleaje pone en movimiento al chapopote que allí flota en la superficie del agua, y una parte de este chapopote sale por la brecha del dique, y sigue después el trayecto del agua atravesando por la ciénaga situada al Este del hundido, para llegar á Dos Bocas, y caer después en la laguna de Tamiahua. En ciertos momentos toda la superficie del agua en este trayecto, sobre todo al pasar por la brecha del dique, está cubierta por una tela delgada de chapopote. (Véanse láms. X, XV y XIX). Durante muchas horas sólo se ve sobre el agua una cinta angosta y muy delgada de chapopote, cinta negra que serpentea siguiendo el trayecto del agua. (Véanse láms. V y VI). Por último, durante muchas horas, y muchas veces durante todo el día, no sale chapopote, sino que por el arroyo pasa agua solamente. (Véanse láminas XIII y XIV). Estas variaciones en la producción

del chapopote, se explican fácilmente, porque no todas las emisiones de agua y gases vienen acompañadas de chapopote, sino que unas traen este compuesto (lámina XVII) y muchas otras no lo traen (láms. XV y XVI); unas traen mucho (lám. X), otras muy poco (láms. VII, XI y XVIII), y actualmente una gran parte de esas emisiones no arrastran chapopote hacia la superficie del terreno.

En vista de lo anterior, y como no hay ninguna constancia en las emisiones de chapopote, se comprende la dificultad de calcular con exactitud la producción diaria de esta substancia en el llamado pozo de Dos Bocas. En efecto, calculando la producción diaria, como parece que se ha hecho en ese pozo, con los datos tomados en los pocos momentos en que todas las emisiones de agua caliente vienen acompañadas de bastante chapopote, se obtienen muchos millares de barriles como producción diaria de esta substancia. Pero este resultado es falso, pues como he dicho, en una parte del día y á veces en todo el día, no brota chapopote en el hundido de San Diego de la Mar. Con datos tomados en estos últimos momentos se llegaría también á la conclusión falsa, de que el pozo no produce chapopote. En vista de lo anterior, se comprende la necesidad de sacar un promedio, que es difícil de obtener por la mucha variabilidad de la producción diaria. Todo esto explica por qué se han obtenido resultados tan diferentes, y algunos tan exagerados, relativos á la producción de chapopote durante este segundo período de emisiones por el pozo Dos Bocas.

Del chapopote que haya producido el pozo durante su primer período de emisiones, es decir, durante el incendio, no quedó huella que pudiera servir ahora para

calcular esa producción. Tal vez el dato aproximado relativo á esta última, exista inédito en la cartera de algún inteligente observador del pozo en esas fechas, pero yo no lo conozco. El chapopote producido durante el segundo período en que hasta la fecha se encuentra el pozo no se ha captado, sino que todo ha salido por el arroyo Carbajal, y por Dos Bocas, para la laguna de Tamiahua. Es cierto que se han formado grandes tanques para recoger el chapopote, pero hasta la fecha de nuestra visita á la región, á fines de Noviembre de 1908, esos tanques estaban vacíos, como se ve en las láminas XX, XXI, XXII y XXVI.

Al comenzar el segundo período de emisiones á que me refiero, tanto el agua lodosa como el chapopote pasaron por el río Carbajal, para la laguna de Tamiahua. Entonces este río tenía en la superficie del agua una capa de chapopote, desde San Diego de la Mar hasta su desembocadura en la laguna mencionada; y en esa época pudo haberse azolvado. Poco después, con los bordos que se levantaron se cambió el trayecto del agua; y desde entonces hasta ahora, el chapopote cae á la laguna de Tamiahua en el lugar llamado Dos Bocas, que está situado á tres kilómetros al Norte-Poniente de la desembocadura del río Carbajal. De este modo se evitó que el río se azolvara con la arcilla que lleva en suspensión el agua del hundido San Diego de la Mar; y desde entonces ese río quedó sin chapopote. En la actualidad no se encuentra esta substancia ni en el río Carbajal, ni en las cercanías de la desembocadura de este río en la laguna de Tamiahua. Por lo tanto, el pozo Dos Bocas no está ocasionando actualmente ningún perjuicio á la navegación por el río mencionado.

El chapopote se ha reunido formando pequeñas planchas que flotan en la laguna de Tamiahua, frente al lugar llamado Dos Bocas. Algunas de estas planchas han sido llevadas por los Nortes hacia el Sur, rumbo á Tangüijo. Sin embargo, está muy lejos de la verdad, mucho muy lejos, al menos en la actualidad, la noticia relativa á que la laguna de Tamiahua está cubierta por una capa de chapopote que dificulta la navegación. No, no existe allí esa cantidad de chapopote. Esta substancia se halla en planchas bastante pequeñas, tan pequeñas que comparadas con la superficie de la laguna, puede decirse que son imperceptibles, casi nulas. En vista de los hechos anteriores, y después de haber recorrido por varios lugares la laguna de Tamiahua, creo muy fundado decir que: son muy exagerados los datos que se han publicado respecto á la producción de chapopote desde que se apagó el incendio hasta la fecha de este informe.

Antes de pasar á otro asunto, me parece necesario indicar yo una cifra, aunque sea solamente aproximada, respecto á la producción actual de chapopote en el hundido de San Diego de la Mar, antes pozo 3 ó pozo Dos Bocas. No se me podrá exigir una cifra exacta, después de lo que he dicho relativo á la variabilidad de producción en ese pozo; pero como un promedio aproximado de observaciones y cálculos puedo decir que: la producción actual<sup>1</sup> de chapopote en el pozo Dos Bocas no excede de 300 á 400 barriles diarios, producción que irá disminuyendo poco á poco. Por otra parte, el chapopote que produce este pozo no es de buena calidad, porque está íntimamente mezclado con gran cantidad

---

1 En Noviembre de 1908.



de arcilla, es muy denso, y se halla bastante resinificado, como se verá más adelante cuando indique los resultados del análisis del referido chapopote.

Sin duda que al comenzar el que he llamado segundo período de emisiones por el pozo de Dos Bocas, período de régimen intermitente, la producción de chapopote ha de haber sido mucho mayor de la que acabo de indicar; pero no al grado de alcanzar cifras tan exageradas como son las que se han publicado relativas á ese pozo.

La cantidad de agua caliente y gaseosa que brota en el hundido de San Diego de la Mar también varía, aunque mucho menos que la producción de chapopote. Esta cantidad de agua no es menor de 0.6 metros cúbicos por segundo, agua que pasa por la ciénaga ya mencionada, y entra después en la laguna de Tamiahua.

Muy cerca de las casas de peones y de las oficinas de la Compañía se encuentra el pozo núm. 2 de San Diego de la Mar (véanse láms. III y IV), pozo que mencioné ya, indicando las rocas que ha cortado y las profundidades á las cuales se encontró chapopote, gases y agua sulfurosa. En la actualidad salen por este pozo: muy poca agua, á la temperatura de 44° C., y también poco chapopote, mucho menos de un barril diariamente. Este chapopote y agua se han estado reuniendo en el tanque representado en la lámina XXII. Por este pozo sale también anhídrido carbónico (ácido carbónico), é hidrógeno sulfurado (ácido sulfhídrico), pero en muy pequeñas cantidades.

La situación del pozo núm. 2 que acabo de mencionar no es de recomendarse; pues ahora es un foco de producción, aunque pequeña, de gases nocivos que se halla cerca de las habitaciones; y antes, la cercanía del cam-

pamento fué un peligro de incendio, cuando se desprendían por ese pozo carburos de hidrógeno fácilmente inflamables.

Concluídas las descripciones anteriores, paso á ocuparme del análisis de los gases, y de limitar la zona de peligro alrededor del pozo Dos Bocas.

\*

\* \*

Para hacer el análisis cuantitativo de los gases que se desprenden en el pozo Dos Bocas, procedimos como sigue:

El aparato que empleamos para hacer la captación y á la vez el análisis de los referidos gases, se componía de un aspirador de quince litros de capacidad, al cual estaba conectada una serie de seis frascos lavadores. Estos frascos comunicaban uno con otro, y el último estaba conectado con un gran embudo mediante un tubo de goma de veinte metros de longitud. En los seis frascos lavadores se ponía una solución de iodo para cuantear el hidrógeno sulfurado (ácido sulfhídrico), ó una solución amoniacal de cloruro de bario para determinar la cantidad de anhídrido carbónico (ácido carbónico).

El objeto del tubo de goma de veinte metros de longitud, fué hacer la captación de los gases á bastante distancia del lugar en que nos encontrábamos los operadores; porque como usábamos nosotros como preventivo lienzos mojados en soluciones amoniacales, y como el amoníaco alteraba la composición de la atmósfera cercana de nosotros, para evitar errores hicimos siempre la captación de los gases á veinte metros de distan-

cia del lugar en que nos situábamos con el aspirador y los frascos lavadores.

Al funcionar el aspirador, los gases penetraban por el embudo para el tubo de goma, y pasaban en seguida de uno en uno, por los seis frascos lavadores hasta llegar al aspirador. El volumen de gas aspirado se determinaba midiendo el agua que salía del aspirador, y que se recogía en una probeta graduada.

Para cuantear el hidrógeno sulfurado contenido en el aire, se colocaba en los seis frascos lavadores una cantidad conocida de iodo, disuelta en ioduro de potasio y agua; se cerraban perfectamente los frascos; se conectaban entre sí con tubos de goma; y con pinzas de presión se cerraban los tubos, también de goma, que debían unir á un frasco lavador con el aspirador, y á otro frasco con el embudo. Todo lo anterior se hacía en un cuarto bastante distante del pozo, y después de estar seguro de que en la atmósfera del cuarto no había hidrógeno sulfurado, pues no se coloraba el papel que contenía acetato de plomo. Después se transportaba el aparato al lugar donde tenía que hacerse el análisis, se conectaba el último frasco lavador con el aspirador, y el primero con el embudo; pero sin abrir las pinzas de presión antes mencionadas. Luego se alejaba el embudo del resto del aparato, los veinte metros que tenía de longitud el tubo de goma, colocando siempre el embudo al nivel del suelo; y después de transcurrido un poco de tiempo, se abrían las pinzas mencionadas y también las dos llaves del aspirador, la de entrada del gas y la de la salida del agua. Esta última se abría muy poco, para que los gases pasaran con mucha lentitud de uno á otro, por los seis frascos lavadores.

El hidrógeno sulfurado, al obrar sobre la solución de iodo, produce azufre y ácido iodhídrico. Si en el primer frasco lavador la reacción anterior no terminaba, el hidrógeno sulfurado restante encontraba al pasar al segundo frasco más solución de iodo, y la reacción continuaba hasta concluir en el cuarto ó quinto frasco lavador. Al formarse en el primer frasco una película de azufre sobre la solución que contenía, se consideraba concluído el experimento; y se suspendía desde luego el paso de los gases, con objeto de impedir el ataque completo de la solución de iodo contenida en los otros frascos, y para estar seguro de que todo el hidrógeno sulfurado que penetraba en el aparato quedaba totalmente descompuesto en los frascos lavadores, y nada pasaba hasta el aspirador. Se cerraban entonces las dos llaves de este último, y las dos pinzas de presión, colocadas entre el primer frasco y el embudo, y entre el último frasco y el aspirador. Se desconectaban después los frascos del embudo y del aspirador, se medía la cantidad de agua que había salido de este último, y se hacían durante el experimento las observaciones de temperatura y presión. Después, en el cuarto laboratorio ya mencionado, se determinaba volumétricamente, con una solución titulada de tiosulfato de sosa (hiposulfito de sosa), la cantidad de iodo contenida en el líquido de los seis frascos lavadores. La diferencia entre esta cantidad de iodo, y la total contenida en la solución que se había colocado en los referidos frascos, era el peso del iodo transformado en ácido iodhídrico, por la acción del hidrógeno sulfurado. De este modo se llegó á conocer la cantidad en peso, de hidrógeno sulfurado contenido en los litros de aire que se habían hecho pa-

sar por el aparato, litros de aire de los cuales se determinaba su peso, teniendo en cuenta la temperatura, la presión y la fuerza elástica del vapor de agua á la temperatura á la cual se había hecho el experimento.

La determinación cuantitativa del anhídrido carbónico, se hizo operando en todo como dije antes; pero poniendo en los seis frascos lavadores una solución amoniacal de cloruro de bario. Se hacía pasar el aire entretanto no se formaba precipitado de carbonato de barita en el cuarto frasco. Concluída la operación, se filtraba el líquido contenido en los seis frascos, y se juntaba y lavaba en un filtro de papel el precipitado de carbonato de barita. Después se atacaba este último con una solución titulada de ácido clorhídrico, usando como indicador el "naranjado núm. 3;" y por la cantidad de ácido clorhídrico empleado, se determinaba el peso del anhídrido carbónico (ácido carbónico) contenido en el carbonato de barita, ó sea, en los litros de aire que habían pasado por los frascos lavadores. El peso de este aire se determinaba como dije anteriormente.

Además del hidrógeno sulfurado y del anhídrido carbónico, se encontraron en la atmósfera cercana del hundido San Diego de la Mar, pequeñas cantidades de ácido sulfúrico y de anhídrido sulfuroso (ácido sulfuroso). Se hizo la determinación cuantitativa de este último como sigue: En los tres primeros frascos lavadores del aparato ya descrito, se puso una solución de sulfato de cobre; y en los tres últimos, ó sea en los frascos por donde pasarían los gases, después de haberlo hecho por los tres anteriores, se colocó una cantidad conocida de iodo disuelto en ioduro de potasio y agua. Suspendido del tapón que cerraba el tercer frasco, y cerca

del tubo que conectaba á este frasco con el cuarto, se hallaba una tira de papel impregnado con acetato de plomo. Este último tenía por objeto estar seguro de que todo el hidrógeno sulfurado contenido en el aire que pasaba por el aparato, se fijaba en los tres primeros frascos que contenían sulfato de cobre; y que, por lo tanto, no pasaba nada de ese compuesto al cuarto frasco, en el cual se encontraba ya solución de iodo destinada á cuantear el anhídrido sulfuroso. En los primeros frascos el hidrógeno sulfurado se transformaba totalmente en sulfuro de cobre; y el aire privado ya de ese compuesto, pasaba al cuarto frasco sin ocasionar ningún cambio de color en el papel con acetato de plomo, colocado en el trayecto que tenía que seguir el aire, al pasar del tercero al cuarto frasco del aparato mencionado. El anhídrido sulfuroso al llegar con el aire á los tres últimos frascos, transformaba al iodo en ácido iodhídrico, con formación de ácido sulfúrico. La captación del aire y todos los detalles de la experimentación, se hacían como indiqué antes al hablar del cuanteco del hidrógeno sulfurado; y después de hacer pasar por el aparato varios litros de aire, se determinaba con la solución titulada de thiosulfato de sosa, la cantidad de iodo contenida en el líquido de los tres últimos frascos lavadores. La diferencia entre esta cantidad de iodo, y la total contenida en la solución que se había colocado en los referidos frascos, era el peso del iodo transformado en ácido iodhídrico por la acción del anhídrido sulfuroso. Así se llegó á conocer la cantidad en peso, de anhídrido sulfuroso contenido en los litros de aire que se habían hecho pasar por el aparato.

Con excepción de los compuestos mencionados, no hay

otras substancias anormales en la atmósfera que rodea al pozo Dos Bocas, ni se hallan allí carburos de hidrógeno gaseosos.

Los análisis se hicieron en distintos lugares, á diferentes distancias del lugar de emisión de los gases; y unas veces se captaron estos últimos dentro de la corriente del viento, situándose en lugares adonde el aire llegaba inmediatamente después de haber pasado por el hundido de San Diego de la Mar; y otras veces se captaban los gases en dirección opuesta á la anterior, es decir, en lugares situados en la dirección del viento, pero antes que este último pasara por el hundido mencionado. Se hicieron varios análisis en donde está el campamento y las oficinas de la Compañía explotadora, captando el aire á diferentes horas y en distintos días. Además, en este campamento se hizo funcionar el aparato ya mencionado durante veinte horas seguidas, para obtener un promedio de la cantidad de hidrógeno sulfurado contenida en el aire de ese campamento.

Se hicieron además análisis de los gases que se desprenden en el pozo núm. 2 de San Diego de la Mar, lámina I. Para esto se colocó el embudo del aparato ya mencionado en la boca del pozo, y se determinaron las cantidades de anhídrido carbónico y de hidrógeno sulfurado contenidas en la atmósfera cercana del pozo mencionado.

También se determinaron volumétricamente las cantidades de anhídrido carbónico y de hidrógeno sulfurado, disueltos en el agua del hundido San Diego de la Mar y en el agua del referido pozo núm. 2.

Los resultados de los análisis hechos de la manera ya indicada, son los siguientes:

En la brecha abierta en el extremo del dique levantado por el Batallón de Zapadores (véase lám. XXIV), ó sea en el punto 1 de la lámina IV, á 144 metros al Este del pozo Dos Bocas, operando á las 8 a. m., cuando soplabá viento del Poniente, y pasaba el vapor de agua sobre el dique mencionado, los resultados fueron los siguientes:

*Anhidrido carbónico.* ( $\text{CO}_2$ ).

0.0563 gramos por litro de aire, ó sea, en peso:

47.6 de  $\text{CO}_2$  en 1000 partes de aire.

*Hidrógeno sulfurado.* ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

0.0098 gramos por litro de aire, ó sea, en peso:

8.3 de  $\text{H}_2\text{S}$  en 1000 partes de aire.

En las cercanías de las casas situadas al Sur-Sur-Poniente del pozo Dos Bocas y distante de este pozo 300 metros, en el punto 2 de la lámina IV, operando á las 3 p. m., cuando soplabá viento del Norte-Oriente, los resultados fueron los siguientes:

*Anhidrido carbónico.* ( $\text{CO}_2$ ).

0.050 gramos por litro de aire, ó sea, en peso:

56.2 de  $\text{CO}_2$  en 1000 partes de aire.

*Hidrógeno sulfurado.* ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

0.0092 gramos por litro de aire, ó sea, en peso:

8.6 de  $\text{H}_2\text{S}$  en 1000 partes de aire.

A 240 metros al Sur-Poniente del pozo Dos Bocas,



en el punto 3 de la lámina IV, operando á las 4 p. m., cuando soplabá el viento del Norte-Oriente, se obtuvieron los siguientes resultados:

*Anhidrido carbónico.* ( $\text{CO}_2$ ).

0.050 gramos por litro de aire, ó sea, en peso:

56.2 de  $\text{CO}_2$  en 1000 partes de aire.

*Hidrógeno sulfurado.* ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

0.0122 gramos por litro de aire, ó sea, en peso:

11.4 de  $\text{H}_2\text{S}$  en 1000 partes de aire.

A 180 metros al Poniente del pozo Dos Bocas, en el punto 4 de la lámina IV, operando á las 5 p. m., cuando soplabá viento del Este, se obtuvieron los siguientes resultados:

*Anhidrido carbónico.* ( $\text{CO}_2$ ).

0.071 gramos por litro de aire, ó sea, en peso:

66.5 de  $\text{CO}_2$  en 1000 partes de aire.

*Hidrógeno sulfurado.* ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

0.022 gramos por litro de aire, ó sea, en peso:

20.6 de  $\text{H}_2\text{S}$  en 1000 partes de aire.

*Anhidrido sulfuroso.* ( $\text{SO}_2$ ).

0.002 gramos por litro de aire, ó sea, en peso:

1.7 de  $\text{SO}_2$  en 1000 partes de aire.

A 310 metros al Poniente-Sur-Poniente del pozo mencionado, en el punto 5 de la lámina IV, operando á las 3 p. m., cuando soplabá viento del Norte-Oriente, los resultados fueron los siguientes:

*Anhidrido carbónico.* ( $\text{CO}_2$ ).

0.045 gramos por litro de aire, ó sea, en peso:

42.1 de  $\text{CO}_2$  en 1000 partes de aire

*Hidrógeno sulfurado.* ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

0.0092 gramos por litro de aire, ó sea, en peso:

8.6 de  $\text{H}_2\text{S}$  en 1000 partes de aire.

A 480 metros al Poniente del pozo mencionado, en el punto 6 de la lámina IV, operando de las 4 á las 5 p. m., cuando sopla viento del Este, los resultados fueron los siguientes:

*Anhidrido carbónico.* ( $\text{CO}_2$ ).

0.0047 gramos por litro de aire, ó sea, en peso:

4.4 de  $\text{CO}_2$  en 1000 partes de aire.

*Hidrógeno sulfurado.* ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

0.0014 gramos por litro de aire, ó sea, en peso:

1.3 de  $\text{H}_2\text{S}$  en 1000 partes de aire.

A 350 metros al Este del pozo Dos Bocas, en el punto 7 de la lámina IV; operando á las 11 a. m., cuando sopla viento del Sur-Este se obtuvieron los resultados siguientes:

*Anhidrido carbónico.* ( $\text{CO}_2$ ).

0.0103 gramos por litro de aire, ó sea, en peso:

9.6 de  $\text{CO}_2$  en 1000 partes de aire.

*Hidrógeno sulfurado.* ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

**0.00** de  $\text{H}_2\text{S}$

En el campamento, á 680 metros al Sur-Este del pozo mencionado, en el punto 8 de la lámina IV, los resultados á distintas horas y en diferentes condiciones, variaron como sigue:

*Anhidrido carbónico.* ( $\text{CO}_2$ ).

Varió entre 0.6 y 2.1 en 1000 partes en peso de aire.

*Hidrógeno sulfurado.* ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

Varió entre 0.5 y 0.8 en 1000 partes de aire.

El aire captado en la boca del pozo 2 contiene:

*Anhidrido carbónico.* ( $\text{CO}_2$ ).

0.0349 gramos por litro de aire, ó sea, en peso:

30.9 de  $\text{CO}_2$  en 1000 partes de aire.

*Hidrógeno sulfurado.* ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

0.0074 gramos por litro de aire, ó sea, en peso:

6.6 de  $\text{H}_2\text{S}$  en 1000 partes de aire.

El agua que brota en el pozo núm. 2 de San Diego de la Mar, contiene en disolución:

*Anhidrido carbónico:* 0.940 gramos por litro de agua.

*Hidrógeno sulfurado:* 0.198 gramos por litro de agua.

El agua del hundido de San Diego de la Mar, contiene en disolución:

*Anhidrido carbónico:* 0.590 gramos por litro de agua.

*Hidrógeno sulfurado:* 0.142 gramos por litro de agua.

Resumiendo los datos anteriores, se pueden formar los dos cuadros siguientes:

Partes en peso de anhídrido carbónico (ácido carbónico), y de hidrógeno sulfurado (ácido sulfhídrico), contenidos en 1000 partes de aire, captado en los alrededores del hundido San Diego de la Mar.

Punto de la lámina IV	Distancia al pozo número 3 — Metros	Hora	Dirección del Viento.	Anhídrido carbónico.	Anhídrido sulfuroso.	Hidrógeno sulfurado.
(*)	4. 180 al W.....	5 p. m..	Del Este..	66.5	1.7	20.6
	3. 240 al S.W.....	4 p. m..	„ N.E..	56.2	..	11.4
	2. 300 al S.S.W.....	3 p. m..	„ N.E..	56.2	..	8.6
	1. 144 al Este.....*	8 a. m..	„ W..	47.6	..	8.3
	5. 310 al W.S.W.....	3 p. m..	„ N.E..	42.1	..	8.6
	6. 480 al W.....	4 a 5 p.m.	„ Este..	4.4	..	1.3
(**) Pozo n.º 2	7. 350 al Este.....	11 a. m.	Del S.E..	9.6	..	0.0
	8. 680 al S.E.....	Varias.	Varias...	0.6 á 2.1	..	0.5 á 0.8
	.....	.....	.....	30.9	..	6.6

(\*) Captando el aire inmediatamente después de su paso por el pozo 3.  
(\*\*) „ „ „ antes de su paso por el pozo 3.

Anhídrido carbónico (ácido carbónico) é hidrógeno sulfurado (ácido sulfhídrico), que contienen en disolución las aguas que brotan por los pozos 2 y 3 de San Diego de la Mar.

	Temperaturas del agua	Peso específico	Anhídrido carbónico. Gramos por litro de agua.	Hidrógeno sulfurado. Gramos por litro de agua.
Pozo número 2...	44° C.	1.039	0.940	0.198
Pozo número 3...	69° C.	1.039	0.590	0.142

Conocidos ya los resultados analíticos anteriores, tengo que hacer ahora algunas indicaciones respecto á la acción que ejercen sobre el organismo el anhídrido carbónico (ácido carbónico) y el hidrógeno sulfurado (ácido sulfhídrico), para poder fijar después la zona de peligro alrededor del pozo Dos Bocas.

El anhídrido carbónico no es venenoso, pero ocasio-

na la asfixia, porque excluye al oxígeno de los pulmones. La presencia de ese compuesto en gran cantidad en la atmósfera que se respira, impide que la sangre pierda, al llegar á los pulmones, el anhídrido carbónico que contiene, y ocasiona que la sangre se enriquezca en esta substancia. Es decir, que la asfixia no es ocasionada por la falta de oxígeno, sino por el exceso de anhídrido carbónico contenido en el aire mortal.

No obstante las afirmaciones de algunos, es inútil aumentar la cantidad de oxígeno para contrarrestar los efectos nocivos del anhídrido carbónico contenido en el aire que se respira; pues por desgracia no tiene el oxígeno esa cualidad, y sus efectos benéficos no comienzan sino hasta que se hace desaparecer al anhídrido carbónico contenido en el aire. Por lo tanto, con un exceso de ese compuesto se ocasiona la asfixia, aun cuando la atmósfera que se respire contenga mucho más oxígeno que el aire de composición normal. Además, hay que tener en cuenta que el anhídrido carbónico puede penetrar en la sangre no solamente por los pulmones, sino también por la piel, razón por la cual empleamos nosotros en Dos Bocas, como preventivo, al amoníaco; porque siendo éste volátil, purificaba la atmósfera de que estábamos rodeados.

Cuando se respira el anhídrido carbónico en pequeña cantidad por algún tiempo, se siente dolor de cabeza y de espalda, debilidad en las piernas, y se tiene náusea; pero cuando se aspira en gran cantidad, ese anhídrido ocasiona la muerte por asfixia.

Por otra parte, el hidrógeno sulfurado (ácido sulfhídrico) es un veneno violento y que no necesita estar puro para ser excesivamente peligroso cuando se en-

cuentra en cantidad considerable. Por fortuna su olor fétido permite conocer su presencia, aun cuando se encuentre en muy pequeña cantidad en el aire que se respira.<sup>1</sup>

El hidrógeno sulfurado obra directamente sobre el glóbulo sanguíneo, y transforma en sulfuro de fierro al fierro que contiene la sangre, razón por la cual toma esta última un color pardo obscuro. Cuando se aspira en gran cantidad el hidrógeno sulfurado produce postración, pérdida del conocimiento, y también la muerte.

Los experimentos cuidadosos que se han hecho para estudiar la acción nociva de los dos gases anteriores, han conducido á los siguientes resultados:

Partes de anhídrido carbónico contenidas en 1000 partes de aire:<sup>2</sup>

	Anhídrido carbónico.	Aire.
Aire malsano.....	10 partes en	1000
Aire peligroso.....	20 á 25 „ „	1000
Aire muy venenoso.....	30 „ „	1000
Aire mortal .....	40 „ „	1000

Partes de hidrógeno sulfurado (ácido sulfhídrico), contenidas en 1000 partes de aire:

	Hidrógeno sulfurado.	Aire.
Mata instantáneamente á las aves.....	0.67 partes en	1000
Asfixia á un perro en pocos minutos...	1.25 „ „	1000
Mata á un caballo.....	5.00 „ „	1000
Mata á un hombre <sup>3</sup> .....	11.00 „ „	1000

<sup>1</sup> Es perceptible al olfato un milésimo de miligramo de hidrógeno sulfurado. E. Putzeys. Bull. Soc. Belg. Géol. Paléont. et d'Hydrol. Tomo XXII. 1908. Procès verbaux, pág. 261.

<sup>2</sup> Walter E. Mingramm. Requirements of a Breathing-Apparatus for Use in Mines. Bi-Monthly Bull. Am. Inst. Min. Eng. Julio 1908, pág. 563.

<sup>3</sup> Según lo acontecido en el Pozo Dos Bocas.

Teniendo en cuenta estos datos y los resultados analíticos anteriores, puede decirse lo siguiente: en las condiciones en que se hicieron los análisis, la atmósfera es mortal para el hombre, por las cantidades que contiene de anhídrido carbónico y de hidrógeno sulfurado, en los lugares 3 y 4 de la lámina IV.<sup>1</sup> La atmósfera es también mortal, principalmente por el anhídrido carbónico que contiene, en los lugares 1, 2 y 5 de la misma lámina IV. En el punto 6 la atmósfera es mortal para los perros, por la cantidad de hidrógeno sulfurado que contiene; y no es mortal para el hombre en ese lugar, aunque sí es malsana. En los lugares anteriores, los análisis de la atmósfera se hicieron dentro de la corriente del viento, es decir, captando al aire inmediatamente después de haber pasado por el lugar de emisión de los gases nocivos mencionados. En estas condiciones, que son las peores, se ve por los datos precedentes: que la atmósfera es mortal, hasta una distancia de 300 á 310 metros del pozo Dos Bocas, ó sea, del centro del hundido San Diego de la Mar, y que á una distancia de 480 metros del mismo pozo, y en las peores condiciones, la atmósfera, aunque malsana, no es ya mortal para el hombre. Por lo tanto, puedo decir: que la zona de peligro se extiende como máximum, hasta quinientos metros alrededor del pozo; y que en esta zona circular de quinientos metros de radio, el peligro va en aumento, y la atmósfera es más venenosa, á medida que la distancia al borde del hundido es más pequeña.

Dentro de la zona anterior es inútil el empleo del

---

<sup>1</sup> Por el punto 3 se asfixiaron los hombres que mencioné en otro lugar. En el mismo punto murieron varias mulas.

oxígeno como preventivo contra la asfixia que ocasiona el anhídrido carbónico; porque, como dije ya, el oxígeno no tiene esa cualidad, sino que la asfixia por el anhídrido carbónico (ácido carbónico) se produce aun cuando en la atmósfera que se respire halla mucha mayor cantidad de oxígeno que en el aire de composición normal.

Por otra parte, la presencia de pequeñas cantidades de anhídrido sulfuroso (ácido sulfuroso), y de ácido sulfúrico en la atmósfera cercana del pozo Dos Bocas, substancias que se forman allí de la manera que indicaré más adelante, ocasiona que esta atmósfera sea aún más nociva, por las razones que paso á mencionar.

El anhídrido sulfuroso es un gas más pesado que el aire, pues su peso específico es 2.25, tomando como unidad el del aire; y este gas impide la combustión y la respiración. Aspirado en pequeña cantidad provoca tos, pero en gran cantidad ocasiona la sofocación. Por fortuna, como se ve por los resultados de los análisis, la cantidad de este anhídrido es muy pequeña en la atmósfera cercana del hundido San Diego de la Mar, y sólo provoca tos en los lugares donde el aire de esa región contiene mayor cantidad de gases nocivos.

El ácido sulfúrico hidratado, no siendo volátil á la temperatura atmosférica, se condensa en forma de niebla. Además, como indicaré en detalle más adelante, este ácido se forma por la acción del oxígeno del aire sobre el hidrógeno sulfurado (ácido sulfhídrico), aun á la temperatura ordinaria, y de preferencia en contacto con cuerpos porosos y húmedos. Por lo tanto, en una atmósfera como la que rodea al hundido San Diego de la Mar, conteniendo gran cantidad de hidrógeno sulfurado, el ácido sulfúrico se forma en regular cantidad



al ponerse en contacto ese aire con la mucosa de la nariz, con la laringe, y con la conjuntiva en los ojos; y entonces, en estos lugares húmedos ejerce de preferencia su acción nociva el ácido sulfúrico. Este ácido es muy cáustico, quita el agua á todos los compuestos orgánicos, y aun destruye por completo á algunos, carbonizándolos. Cuando el ácido sulfúrico absorbe á la agua se produce una elevación de temperatura, la cual sube á 80 y á 105° C. Por estas propiedades que tiene el ácido sulfúrico, especialmente por ser muy cáustico, atribuyo á la acción de este ácido: la conjuntivitis, las laringitis y las molestias en la mucosa de la nariz, enfermedades y molestias que han sufrido los trabajadores en las cercanías del pozo Dos Bocas. El amoníaco neutraliza al ácido sulfúrico y al anhídrido sulfuroso también, y como el primero es volátil, neutraliza al ácido sulfúrico contenido ó que pudiera formarse en la atmósfera que rodea al individuo que emplea el amoníaco como preventivo, contra la acción nociva de los compuestos mencionados. Esto último explica por qué nosotros no sufrimos ni de la nariz, ni de la laringe, ni de los ojos, no obstante haber estado muchas veces en la zona donde se forma en mayor cantidad relativa el ácido sulfúrico.

Fuera de la zona de peligro, de forma circular ya mencionada, la atmósfera va siendo menos y menos dañosa á medida que aumenta la distancia al pozo Dos Bocas. En el campamento, punto 8 de la lámina IV, á 680 metros de distancia de este pozo, y según los resultados de los análisis anteriores, la atmósfera ya no es peligrosa; y aunque contiene mayor proporción de anhídrido carbónico que el aire normal, y tiene también

una cantidad pequeña de hidrógeno sulfurado, la acción lenta de estos gases sobre el organismo, puede evitarse allí en gran parte, poniendo en las habitaciones receptáculos con cal, substancia ésta que fija al anhídrido carbónico y al hidrógeno sulfurado, formando carbonato de cal y sulfuro de calcio, que son compuestos fijos. De esta manera económica se purifica la atmósfera que se respira en el día, y principalmente en la noche. En cuanto á la acción nociva ya mencionada del ácido sulfúrico, puede decirse que disminuye rápidamente al aumentar la distancia al pozo Dos Bocas; porque á medida que ésta va siendo mayor, es mayor también la dilución en el aire del hidrógeno sulfurado, y por lo tanto, es insignificante ó nula la formación del ácido sulfúrico. Según esto, la acción nociva del ácido sulfúrico sobre la nariz, la laringe y los ojos, es insignificante ó nula en lugares situados á regular distancia del referido pozo Dos Bocas.

En el interior de la zona de peligro ya limitada, la composición de la atmósfera no es la misma durante todo el día en un mismo lugar; porque como dije antes, el viento es el que desaloja y facilita la difusión de los gases, y como varía la dirección y velocidad del viento, los lugares de mayor peligro son en cada momento los que reciben el aire inmediatamente después de que este último ha pasado por el hundido San Diego de la Mar. En esos mismos lugares el peligro es mucho menor, cuando reciben el aire antes de que éste pase por el hundido mencionado. Estas diferencias en la composición de la atmósfera, pueden apreciarse fácilmente comparando los resultados de los análisis que corresponden á los puntos 5 y 7 de la lámina IV. Estos puntos están

casi á la misma distancia del centro del hundido San Diego de la Mar; pero en el primero se captó el aire inmediatamente después de su paso por esa depresión, y en el segundo se captó antes de pasar por el lugar de emisión de los gases nocivos, y los resultados fueron los siguientes:

	Anhidrido carbónico	Hidrógeno sulfurado
En el punto 5.....	42.1 en 1000 de aire.	8.6 en 1000 de aire.
„ 7.....	9.6 „	0.0 „

En las condiciones en que se hizo el análisis en el punto 5, la atmósfera es mortal, y no lo es en las condiciones del análisis hecho en el punto 7. Al cambiar la dirección del viento, y cuando en vez de soplar del Este sopla del Oeste, en el punto 7 la atmósfera será mortal y no lo será en esos momentos en el punto 5.

Teniendo en cuenta las diferentes direcciones en que sopla el viento en esa región, y el tiempo que permanece soplando en cada una de ellas, he dividido la zona circular de peligro ya limitada, en varios sectores. Los sectores marcados con los números I y II de la lámina IV, son sin duda los más peligrosos dentro de esa zona, el primero en la tarde y noche, y el segundo en la mañana; porque desde el mediodía hasta la media noche, sopla casi siempre viento del Este, y desde las primeras horas del día hasta las 10 ú 11 a. m., sopla el viento del Oeste. Los sectores III y IV de la misma lámina IV son peligrosos, pero no durante tantas horas como los I y II, sino únicamente unas cuantas horas cerca del mediodía; el número III, por lo general, entre 10 a. m. y 12 m. y el número IV desde el mediodía hasta las 3 y á veces hasta las 4 p. m. Cuando sopla el viento Norte, los sectores III y IV son muy peligrosos, tanto en el día

como en la noche; y mientras el viento tiene esta dirección, la atmósfera del campamento (punto 8 de la lámina IV), aunque no es mortal sí es malsana, porque aumenta entonces la cantidad de anhídrido carbónico y de hidrógeno sulfurado que contiene normalmente el aire en ese lugar. El sector número V de la misma lámina IV, parece ser el menos peligroso de todos, pues raras veces sopla el viento Sur. En este sector hay gran cantidad de gases nocivos únicamente entre 10 a. m. y mediodía por lo general; pero sucede esto muy pocas veces durante el mes.

Como se ve, la zona de peligro que he limitado no es de peligro de muerte toda ella, en todas partes, durante todo el día; sino que el lugar de peligro eminente va variando dentro de esa zona, con los cambios en la dirección del viento. Sin embargo, puedo decir que: dentro de esa zona la atmósfera es siempre malsana cuando no es mortal, cualquiera que sea la hora del día y la dirección del viento. En efecto, en el punto 7 de la lámina IV, se hizo el análisis cuando soplabla viento del Sur-Este, es decir, que se captó el aire 350 metros antes que llegara al lugar de emisión de los gases nocivos; y no obstante condiciones tan favorables, el resultado fué obtener: 9.6 partes de anhídrido carbónico en 1000 partes en peso de aire. Por este resultado se ve que el aire es malsano dentro de esa zona aun en los momentos más favorables, cuando se aspira el aire antes de que éste llegue al hundido, en donde ocurren las emisiones de los gases nocivos mencionados.

Fuera de la zona circular de peligro ya limitada, los gases nocivos diluídos en el aire se desalojan siguiendo la dirección del viento. A medida que más se alejan

de la zona ya mencionada, su difusión en el aire es más completa, y se van encontrando en menor proporción en la atmósfera que se respira.

Teniendo en cuenta lo que dije antes, al hablar de los diferentes sectores en la zona de peligro, se comprende que fuera de esa zona los gases mencionados se desalojarán de preferencia, y durante más tiempo, siguiendo los sectores *A* de la lámina XXVII. El sector *A* del Norte-Poniente en la tarde y noche, y el sector *A* del Este en la mañana hasta el mediodía. En los sectores *B* de la misma lámina XXVII se desalojan los gases con menos constancia, durante menos horas y menos días, que en los sectores *A*. Por los dos sectores *B* del Este suelen desalojarse los gases entre las 10 de la mañana y el mediodía; y por el sector *B* del Sur-Poniente, se desalojan á veces durante las primeras horas de la tarde, y á veces en la noche. Al sector *C* de la misma lámina XXVII, llegan los gases diluídos en el aire solamente cuando sopla el Norte; y por el sector del Norte de la lámina XXVII, dentro del cual está Tampico, parece que no se desalojan los gases sino raras veces entre las 10 de la mañana y el mediodía.

Todo lo anterior está comprobado con las observaciones hechas por el Sr. Fernando Urbina, empleando papel impregnado con acetato de plomo. En efecto, en Pánuco, Badeas, Ozuluama y la Mar, lugares situados en el sector *A* del Norte-Poniente en la lámina XXVII, se coloró el papel en la tarde y noche. No se coloró el mismo papel en Pánuco, ni en la noche, cuando soplabla Norte; sino que entonces los gases se dirigen por Trinidad para Tamalín, puntos situados en el sector *C* de la lámina XXVII. Por Dos Caminos y el Sauz no se coloró

el papel mencionado, pero dice la gente de ese lugar, que á veces se percibe el olor fétido por la tarde. Las autoridades de Tamalín, lugar situado en el sector *C* de la lámina XXVII, me dijeron que por allí se percibe el olor fétido de los gases de Dos Bocas, solamente cuando sopla Norte. En la laguna de Tamiahua, al Norte de Dos Bocas, y no muy distante, es decir, en el sector Norte de la lámina XXVII, estuvimos una mañana, una tarde, y también dos noches completas, sin que se colorara el papel impregnado de acetato de plomo. En cambio, á las cuatro de la mañana, al pasar al Norte-Oriente y al Este de Dos Bocas, por los sectores *A* y *B* del Este de la lámina XXVII, se coloró el papel inmediatamente.

En el sector Norte de la lámina XXVII no se coloró el papel con acetato de plomo cerca de Dos Bocas, como dije antes; pero en cambio en el mismo sector, el señor Urbina hizo una observación interesante. En efecto, en el lugar llamado el Barco (véase lám. XXVII), al Sur-Oeste de Tampico, en la margen derecha del río Pánuco, en la mañana del día 25 de Noviembre de 1908, se observó la presencia de pequeña cantidad de hidrógeno sulfurado en el viento que soplaba del Norte-Oriente, como lo indica la flecha colocada cerca del Barco en la lámina XXVII. Esta observación parece revelar la presencia de un foco productor de hidrógeno sulfurado, situado al Norte-Oriente del Barco, tal vez cerca de Tampico; pues de ninguna manera podría decirse que ese hidrógeno sulfurado procede de Dos Bocas, porque este lugar se encuentra al Sur-Este, y no al Norte-Oriente del lugar llamado el Barco.

Como indiqué antes, la difusión de los gases es nota-

blemente activada por el movimiento de las corrientes de aire; pero sin tener en cuenta esto último, puedo decir que las velocidades relativas de difusión del hidrógeno sulfurado y del anhídrido carbónico, considerando como unidad la del aire, son: 0.95 para el primer gas, y 0.812 para el segundo. Esta difusión de los gases mencionados continúa hasta que su mezcla es uniforme, pero á medida que el viento va alejando esos gases del lugar de su emisión, y que tanto el hidrógeno sulfurado como el anhídrido carbónico se van mezclando con mayor cantidad de aire, estos gases van quedando más diluidos en el aire, y este último se va acercando más á su composición normal. Así, la acción nociva de esos gases va siendo menor á medida que se hallan más lejos del lugar de su emisión, se van encontrando en menor cantidad en la unidad de aire, y son mucho menos extensas y notablemente más lentas las reacciones químicas en las cuales intervienen. En efecto, dentro de la zona de peligro, alrededor del pozo Dos Bocas, cuando se somete el papel impregnado con acetato de plomo á la acción del aire que acaba de pasar por el hundido de San Diego de la Mar, el papel pasa inmediatamente del color blanco al negro intenso. El mismo papel, fuera de la zona de peligro pero cerca de ella, en el campamento por ejemplo, se pone completamente negro después de un poco de tiempo. En las primeras horas de la mañana, cerca de Dos Bocas, en la laguna de Tamiahua, se pone negro el papel anterior en poco tiempo, y lo mismo sucede en la tarde por el lugar llamado la Mar, y á veces hasta Ozuluama. En cambio, por el Sauz, Badeas y Pánuco, el papel mencionado no se llega á poner negro

ni después de mucho tiempo de ataque, sino que adquiere solamente una coloración pardusca.

El olor fétido del hidrógeno sulfurado se percibe aun cuando se encuentre este gas en muy pequeña proporción en el aire; y á esta gran sensibilidad del olfato para ese gas, es debido el que se haya notado su presencia hasta por Badeas y Pánuco, lugares situados á noventa kilómetros de distancia del lugar de emisión del referido hidrógeno sulfurado.

Dentro de la zona de peligro ya mencionada, sin usar ningún preventivo por algunos momentos, y respirando el aire que acaba de pasar por el hundido San Diego de la Mar, se experimentan desde luego los efectos nocivos de los gases anhídrido carbónico é hidrógeno sulfurado. Es decir, se siente desde luego debilidad general, duele la cabeza y á veces el estómago, se padece sofocación, se percibe un sabor dulce bastante pronunciado, y después comienza la tos provocada por el anhídrido sulfuroso (ácido sulfuroso) que allí se forma. Si llegado á este extremo, no se hace uso inmediatamente de la solución diluída de una sal de cobre amoniacal, de la manera antes indicada, sin duda se perdería el conocimiento, y después se ocasionaría la asfixia. Fuera de la zona de peligro, pero cerca de ella, el olor fétido es bastante fuerte; y más lejos todavía, el olor es semejante al que se percibe en las cercanías de los manantiales de agua sulfurosa, olor que va siendo más y más débil á medida que el lugar está más lejano del hundido San Diego de la Mar.

Más adelante, cuando las emisiones en el hundido mencionado, sean mucho menos frecuentes que ahora, la producción de gases en ese lugar será menor y más in-



termitente. Entonces, disminuyendo la producción de gases nocivos, y continuando como ahora la difusión de esos gases con igual velocidad, la zona de peligro cercana del pozo Dos Bocas, se irá reduciendo cada vez más, é irá siendo menor también la distancia hasta la cual se pueda percibir, por su olor fétido, la presencia del hidrógeno sulfurado en el aire de los alrededores del pozo referido.

Antes de concluir esta parte de mi escrito, voy á ocuparme, aunque sea brevemente, en dar una explicación de los fenómenos principales que han ocurrido en el pozo Dos Bocas, explicación que fundaré en los datos de observación ya indicados, y en los resultados analíticos que mencioné anteriormente.

\*  
\* \*

En el Boletín núm. 26 del Instituto Geológico Nacional (páginas 83 y siguientes), indiqué los fundamentos de la teoría orgánica para explicar la formación del petróleo en el subsuelo, teoría que es conocida con el nombre de Höfer-Engler. En ese mismo Boletín dije que: el conjunto de observaciones geológicas hechas en las regiones petrolíferas de los Estados de Tamaulipas, San Luis Potosí y Veracruz, están de acuerdo con la teoría del origen animal del petróleo, teoría que ha sido comprobada por experimentos sintéticos, y que en la actualidad tiene el mayor número de partidarios. Por lo tanto puedo decir: que el petróleo de las regiones mencionadas antes, parece ser un producto de la descomposición de la materia animal proporcionada por una fauna marina que se extinguió paulatinamente al

variar el nivel del mar en esas regiones; y que ese petróleo se resinificó, por sulfuración principalmente, como indicaré más adelante, transformándose por esto en un chapopote más ó menos fluido, á veces viscoso, y otras duro.

En la región petrolífera de Tuxpan principalmente, acompaña al chapopote en su emisión, una cierta cantidad de agua conteniendo hidrógeno sulfurado. Este hecho lo había yo observado, antes que en Dos Bocas, en las chapopoteras conocidas con el nombre de Cerro Azul,<sup>1</sup> situadas al Sur-Este de la sierra de Tantima, en terrenos de la Hacienda Juan Felipe. (Véase lámina XXVII). La asociación del chapopote con aguas que contienen hidrógeno sulfurado en disolución, se explica de la manera siguiente:

El sulfato de cal se encuentra disuelto en el agua del mar;<sup>2</sup> y además, el sulfato de magnesia contenido también en esa agua, ataca á la caliza, y de esta acción química resulta sulfato de cal (yeso), y un carbonato de magnesia, que en determinadas condiciones se une al carbonato de cal, y forma la dolomita.<sup>3</sup> Por otra parte, el sulfato de cal en disolución es reducido por los carburos de hidrógeno,<sup>4</sup> y en general por las materias orgánicas, con formación de sulfuro de calcio y anhídrido carbónico; este último, en presencia del agua, ataca al sulfuro de calcio y se produce carbonato de cal é

---

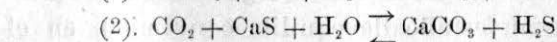
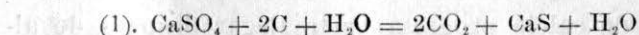
1 Boletín núm. 26 del Instituto Geológico de México, pág. 57.

2 A. S. Cooper. The Genesis of Petroleum and Asphaltum in California. California State Mining Bureau. Bull. 16, pág. 7.

3 F. Sterry Hunt. On the Formations of Gypsums and Dolomites. Quarterly Journal. Geol. Soc. of London. Tomo XVI, pág. 153.

4 E. Fuchs et H. De Launay. Traité des Gites minéraux et métallifères. Paris, 1893. Tomo I, pág. 274.

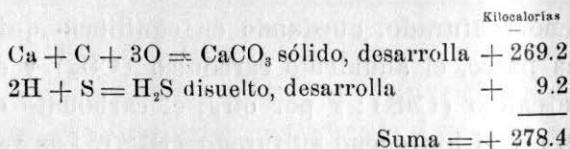
hidrógeno sulfurado, quedando en equilibrio químico: por una parte, el anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) y el sulfuro de calcio ( $\text{CaS}$ ); y por otra, el carbonato de cal ( $\text{CaCO}_3$ ) y el hidrógeno sulfurado ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Las reacciones químicas anteriores se pueden representar aproximadamente como sigue:



Como se ve, la acción química del anhídrido carbónico sobre el sulfuro de calcio, está limitada por la reacción inversa: la formación del sulfuro de calcio y del anhídrido carbónico al atacar el hidrógeno sulfurado al carbonato de cal. Por lo tanto, las transformaciones anteriores terminarán por llegar á un límite, estableciéndose un equilibrio químico entre las dos reacciones inversas.

La reacción (2) al verificarse de izquierda á derecha es exotérmica y desarrolla +10.8 kilocalorías; y es endotérmica al verificarse de derecha á izquierda, en cuyo caso absorbe 10.8 kilocalorías. El resultado térmico anterior se obtiene por el siguiente cálculo:

	Kilocalorías
$\text{C} + 2\text{O} = \text{CO}_2$ disuelto, desarrolla	+ 102.6
$\text{Ca} + \text{S} = \text{CaS}$ disuelto, desarrolla	+ 96.0
$2 \text{H} + \text{O} = \text{H}_2\text{O}$ líquida, desarrolla	+ 69.0
Suma =	+ 267.6



$$\text{Diferencia} = + 278.4 - 267.6 = + 10.8 \text{ kilocalorías.}$$

La acción química del anhídrido carbónico sobre el sulfuro de calcio progresa hasta llegar después de algún tiempo á un estado de equilibrio químico, en el cual la cantidad de sulfuro de calcio descompuesto es igual á la cantidad regenerada por la reacción inversa en el mismo intervalo de tiempo; y por lo tanto, el equilibrio químico establecido en este sistema no es estático, sino dinámico.

La velocidad total de la reacción (2) será igual á la velocidad parcial de la reacción verificada de izquierda á derecha de la expresión (2), menos la velocidad parcial de la reacción inversa, ó sea la verificada de derecha á izquierda de la misma expresión. Cuando esta diferencia de velocidades es igual á cero, la velocidad total de la reacción (2) es nula, y el sistema se encuentra entonces en equilibrio químico.

La elevación de la temperatura acelera notablemente las reacciones, y aumenta la velocidad con la cual los sistemas químicos tienden á su estado de equilibrio, avanzando más las reacciones, en muchos casos como el presente, en el sentido en el cual hay absorción de calor, es decir, en la dirección de derecha á izquierda de la expresión (2). Progresando más la reacción en este sentido, al establecerse el equilibrio químico en el sistema mencionado, queda en solución menor número de moléculas de hidrógeno sulfurado, que de anhídrido

carbónico. Esto se ha observado y comprobado en un sistema químico semejante al anterior, y en el cual en vez de carbonato de cal se halla el carbonato de sosa. En efecto, dice Berthelot:<sup>1</sup> "que tomando equivalentes iguales de ácido sulfhídrico y de ácido carbónico, y poniéndolos en presencia de medio equivalente de potasa, los ácidos se reparten á la base, tomando el ácido sulfhídrico las siete octavas partes de la referida base; pero si se elimina alguno de los ácidos de cualquier modo, y se aumenta la proporción del otro ácido, la formación de la sal de este último ácido irá en aumento hasta llegar á ser la única que subsista en la solución." Esto está perfectamente comprobado, continúa diciendo Berthelot, por las medidas térmicas y por las observaciones que han sido hechas por los químicos, acerca de los desalojamientos recíprocos del hidrógeno sulfurado por medio de un exceso de ácido carbónico al obrar sobre los sulfuros alcalinos; y del ácido carbónico, al tratar los carbonatos alcalinos por un exceso de hidrógeno sulfurado.

Según los datos anteriores relativos á la repartición de la potasa entre el hidrógeno sulfurado y el anhídrido carbónico, puede decirse que: permanece libre mucha mayor cantidad del segundo que del primer gas. En efecto, según esos datos, quedan libres casi dos moléculas de anhídrido carbónico por cada molécula de hidrógeno sulfurado, libre también y en disolución.

En el caso de que me ocupo, las reacciones químicas anteriores están comprobadas por la observación y los

---

<sup>1</sup> Essai de Mécanique chimique fondée sur la Termochimie. Paris. 1879. Tomo II, pág. 555.

resultados analíticos ya indicados. Efectivamente, tanto por el pozo 2 de San Diego de la Mar, como por el 3 ó pozo Dos Bocas, sale agua bastante salada, y que contiene en disolución, además de sulfato, carbonato y sulfuro de calcio, hidrógeno sulfurado y anhídrido carbónico, en mucha mayor cantidad este último que el gas anterior, como se ve en los análisis ya indicados de las dos aguas. De la gran cantidad de sales disueltas que contienen esas aguas, se puede dar una idea con los siguientes datos, relativos á los pesos específicos de las aguas, y á los pesos del residuo de evaporación de las mismas aguas.<sup>1</sup>

	Peso específico	Residuo de evaporación por litro de agua
Agua del pozo núm. 2.....	1.039	53.96 gramos.
Agua del pozo Dos Bocas.....	1.039	54.45 gramos.

Las aguas saladas anteriores en contacto con las calizas y margas del subsuelo en esa región, rocas que mencioné antes, y en contacto también con los carburos de hidrógeno que constituyen al petróleo de la misma región, ocasionaron las reacciones químicas (1) y (2) antes indicadas; y por lo tanto, originaron también la formación de los gases anhídrido carbónico é hidrógeno sulfurado, gases que á la profundidad quedaron totalmente disueltos en el agua, y en equilibrio químico en el sistema ya mencionado. Al ascender esas aguas, y como la presión disminuye, una parte del hidrógeno sulfurado y del anhídrido carbónico se separan de ellas, y al estado gaseoso las acompañan en su emisión por los pozos de San Diego de la Mar. La cantidad aproxi-

<sup>1</sup> Estos datos fueron obtenidos por los químicos del Laboratorio del Instituto Geológico de México.

mada de gases que acompañan al agua en su emisión por el pozo Dos Bocas, que es el más interesante, se puede calcular aproximadamente como paso á indicarlo.

\*

\* \*

En el pozo núm. 2 de San Diego de la Mar, á la profundidad de 591 metros, se encontró chapopote y agua sulfurosa. Esta última, que sigue brotando hasta la fecha, tiene una temperatura de 44° C., como dije ya. La temperatura media anual en ese lugar es de 24°5 C.; y por lo tanto, la diferencia entre 44 y 24.5, ó sean 19°5 C., es el aumento de temperatura debido á la profundidad de la cual procede esa agua. Según esto, el grado geotérmico en esa región, calculado por la temperatura de esta agua, es aproximadamente:

$$\frac{591}{19.5} = 30.3 \text{ metros.}$$

La temperatura del agua que brota en el hundido San Diego de la Mar tiene 69° C. de temperatura. Restando de esta temperatura la media anual del lugar, se obtiene:  $69 - 24.5 = 44.5$  C., que es el aumento de temperatura debido á la profundidad de la cual proviene esta última agua. Como el grado geotérmico aproximado es de 30.3 metros en esa región, calculado por la temperatura del agua del pozo núm. 2, puede decirse que: la profundidad aproximada de la cual proviene el agua que actualmente brota en el hundido San Diego de la Mar es

$$44.5 \times 30.3 \text{ metros} = 1348.35 \text{ metros.}$$

ó sea, en números redondos, 1350 metros. La profundidad alcanzada por el pozo núm. 3, ó sea el llamado Dos Bocas, fué 550 metros; por lo tanto, el agua que brota en el hundido San Diego de la Mar, proviene de un lugar situado á 800 metros más abajo que el punto adonde llegó la perforación del pozo 3, ó sea, de un lugar situado á 748 metros abajo del fondo del pozo 2 de San Diego de la Mar.

Para calcular la cantidad en peso de hidrógeno sulfurado y de anhídrido carbónico disueltos en el agua del pozo Dos Bocas, á la profundidad de 1350 metros abajo del nivel del agua en el hundido San Diego de la Mar, y á 69° C. de temperatura, procedo como sigue:

El agua que brota por el pozo 2 de San Diego de la Mar, á la temperatura de 44° C., y al nivel del mar, contiene en disolución y en equilibrio químico según la expresión (2): 198 gramos de hidrógeno sulfurado, y 940 gramos de anhídrido carbónico, en 1000 litros de agua, de acuerdo con los resultados analíticos indicados anteriormente. Dividiendo los pesos anteriores entre los pesos moleculares respectivos de cada uno de los compuestos mencionados, se obtiene el número de moléculas de cada uno. Es decir:  $\frac{198}{33.83} = 5.85$  moléculas de hidrógeno sulfurado libre contienen en disolución 1000 litros de esa agua; y  $\frac{940}{43.87} = 21.52$  moléculas de anhídrido carbónico libre están en disolución en la misma cantidad de agua. Según esto, en el agua que brota por el pozo núm. 2 de San Diego de la Mar hay en disolución: por cada molécula de hidrógeno sulfurado libre 3.7 moléculas de anhídrido carbónico, también libre. (5.85 : 21.52 :: 1 : x = 3.7).

El agua que brota por el pozo 3 de San Diego de la



Mar, ó sea el agua del hundido del mismo nombre, á la temperatura de 69° C., contiene en disolución y en equilibrio químico según la expresión (2): 142 gramos de hidrógeno sulfurado, y 590 gramos de anhídrido carbónico en 1000 litros de agua, según los datos analíticos ya indicados. Haciendo los mismos cálculos que en el párrafo anterior, se obtienen los siguientes resultados:  $\frac{142}{33.83} = 4.19$  moléculas de hidrógeno sulfurado libre contenidos en disolución en 1000 litros de agua; y  $\frac{590}{43.67} = 13.51$  moléculas de anhídrido carbónico libre, contenidas en disolución en la misma cantidad de agua. Es decir, que en el agua que brota en el hundido San Diego de la Mar, hay en disolución: por cada molécula de hidrógeno sulfurado libre, 3.22 moléculas de anhídrido carbónico también libre: (4.19 : 13.51 :: 1 : x = 3.22).

De lo anterior se puede concluir diciendo que: en el sistema en equilibrio químico representado por la expresión (2), y entre las temperaturas de 44 y 69° C., la relación entre las moléculas de hidrógeno sulfurado y de anhídrido carbónico libres, y en disolución en el agua, varía entre 1 : 3.7 y 1 : 3.22, es decir, que en disolución y libres se encuentran en mayor número las moléculas del primer gas que las del segundo, lo mismo que sucede en el sistema químico semejante que menciona Berthelot, y del cual me ocupé en uno de los párrafos anteriores.

Los mismos resultados analíticos relativos á las aguas de los pozos 2 y 3 de San Diego de la Mar, conducen á otra conclusión muy interesante, y es que: tanto el agua del pozo 2, á 44° C. de temperatura, como el agua del pozo Dos Bocas, á 69° C. de temperatura, están saturadas de anhídrido carbónico. En efecto, el coeficiente

de absorción ó de saturación del anhídrido carbónico, es decir, la relación entre el volumen de anhídrido carbónico que se disuelve, y el volumen de agua que sirve de disolvente, permaneciendo la presión constante, disminuye cuando la temperatura se eleva.<sup>1</sup> Así, á 0° C. y á la presión de 760 mm., es 1.8 ese coeficiente de saturación, el cual es 0.90 á 22° C. y á la misma presión anterior. En el caso de que me ocupo, á la presión de 760 mm., y á las temperaturas de 44 y 69° C., puede decirse que el coeficiente de absorción es respectivamente de 0.6 y 0.4. Calculando con estos datos se llega á los siguientes resultados. En un litro de agua del pozo 2 de San Diego de la Mar, puede haber en disolución 600 centímetros cúbicos de anhídrido carbónico, ó sea en peso:  $0.6 \times 1^{\text{er}}.112 \times 1.529 = 1.020$  gramos, contra 0.940 gramos encontrados por el análisis cuantitativo volumétrico.<sup>2</sup> En el caso del agua del hundido San Diego de la Mar, un litro de agua puede contener en disolución 400 centímetros cúbicos de anhídrido carbónico, ó sea en peso,  $0.4 \times 1^{\text{er}}.034 \times 1.529 = 0.632$  gramos, contra 0.590 encontrados por el análisis. En vista de estos resultados es fundado decir que: tanto el agua del pozo 2, como la del hundido San Diego de la Mar, están saturadas de anhídrido carbónico.

El hidrógeno sulfurado no se encuentra en las aguas mencionadas en toda la cantidad que podrían contener las mismas aguas, si no existiera en disolución en ellas el sistema en equilibrio químico representado por la

---

<sup>1</sup> Arthur M. Comey. Dictionary of Chemical Solubilities. Inorganic. Londres. 1896, pág. 105.

<sup>2</sup> Debe tenerse en cuenta que en el agua que contiene cloruro de sodio como ésta, el anhídrido carbónico es menos soluble que en el agua pura.

expresión (2). En efecto, la cantidad de gas que un líquido puede disolver es independiente de la naturaleza y de la cantidad de los otros gases que tenga en disolución. Por lo tanto, las aguas á que me refiero, no obstante estar saturadas de anhídrido carbónico, podrían disolver de hidrógeno sulfurado toda la cantidad que el agua disuelve de este gas á las temperaturas de 44 y 69° C., que son las temperaturas de esas aguas. La solubilidad del hidrógeno sulfurado en el agua disminuye con el aumento de temperatura y aumenta con la presión,<sup>1</sup> motivo por el cual á la presión constante de 760 mm. el agua absorbe: á 0° C., 4.37 volúmenes de hidrógeno sulfurado (H<sub>2</sub>S); á 44°, 1.63 volúmenes; y solamente 1.09 volúmenes á la temperatura de 69° C. En peso, las cantidades anteriores corresponden á las siguientes:

- A 0°C...  $4.37 \times 1^{sr.293} \times 1.191 = 6.730$  gramos de H<sub>2</sub>S por litro de agua.  
 A 44°C...  $1.63 \times 1^{sr.112} \times 1.191 = 2.159$  gramos de H<sub>2</sub>S por litro de agua.  
 A 69°C...  $1.09 \times 1^{sr.034} \times 1.191 = 1.342$  gramos de H<sub>2</sub>S por litro de agua.

Comparando los resultados anteriores con los analíticos ya mencionados se ve que: el agua del pozo 2 podría contener en disolución 2.159 gramos de hidrógeno sulfurado por litro de agua, y sólo contiene 0.198 gramos por litro; y el agua del pozo 3 podría contener 1.342 gramos del mismo gas, y sólo contiene en disolución, de acuerdo con los resultados analíticos mencionados, 0.142 gramos por litro de agua. No pueden atribuirse estos resultados bajos obtenidos por los análisis á falta de hidrógeno sulfurado; porque este gas acompaña al agua

<sup>1</sup> Atherton Seidell. Solubilities of Inorganic and Organic Substances. New York, 1907, pág. 150.

en su emisión por esos pozos, y además se encuentra en notable exceso en la atmósfera del hundido San Diego de la Mar, la cual está en contacto con el agua que sale por el pozo 3, ó pozo Dos Bocas. Los resultados analíticos anteriores sólo pueden explicarse por el equilibrio químico en que se encuentra el sistema representado por la expresión (2).<sup>1</sup> En este sistema químico, permaneciendo constantes la temperatura y la presión, puede aumentar la cantidad de hidrógeno sulfurado por alguno de los medios siguientes: Aumentando por cualquier procedimiento la cantidad de anhídrido carbónico, la reacción (2) se verifica de preferencia de izquierda á derecha, y entonces aumenta la producción de hidrógeno sulfurado. En el caso de las aguas de que me ocupo, este medio no es posible, porque á las temperaturas que tienen esas aguas están ya saturadas de anhídrido carbónico, como quedó demostrado; y por lo tanto, no es posible aumentar la cantidad de este gas disuelto en el agua. Eliminando por cualquier procedimiento el carbonato de cal que se forma según la reacción (2), ésta tiende á progresar de preferencia en el sentido de izquierda á derecha, y aumenta entonces la producción de hidrógeno sulfurado. Esta eliminación del carbonato de cal no es posible en el caso que estudio; porque las aguas mencionadas están siempre en contacto con las calizas y margas que constituyen el subsuelo de la región; y aun en el hundido de San Diego de la Mar, el agua está en contacto con la marga que transporta el agua del interior á la superficie del terreno, en su movimiento

---

<sup>1</sup> Debe tenerse en cuenta también, que el hidrógeno sulfurado es un poco menos soluble en el agua salada que en el agua pura.

ascendente, y que ha depositado en aquella depresión. Por último, aumentando directamente por cualquier procedimiento la cantidad de hidrógeno sulfurado disuelto. Para que por este medio directo se aumente en realidad la cantidad de hidrógeno sulfurado libre en el sistema químico representado por la expresión (2), es indispensable que el carbonato de cal se pueda eliminar, ó se encuentre en cantidad muy limitada y nunca en exceso; porque en este último caso la reacción (2) se verifica de preferencia de derecha á izquierda, tendiendo á ser completa en este sentido; y por consiguiente, no se logra tener en disolución gran cantidad de hidrógeno sulfurado, sino que toda ó casi toda esta substancia, tiende á transformarse en esas condiciones en sulfuro de calcio con formación de anhídrido carbónico. En San Diego de la Mar no se puede limitar la cantidad de carbonato de cal, como dije antes, sino que por el contrario este carbonato se encuentra en exceso, y siempre en contacto con las aguas subterráneas á que me refiero. Por lo tanto, no puede aumentarse la cantidad de hidrógeno sulfurado en disolución en esas aguas ni poniéndolas en contacto, como en realidad se hallan, con una atmósfera que contenga un exceso de hidrógeno sulfurado.

Lo anterior explica por qué los resultados de los análisis cuantitativos del hidrógeno sulfurado contenido en disolución en las aguas que brotan por los pozos 2 y 3 de San Diego de la Mar, son más bajos que los resultados teóricos; y como se ve, esto es debido principalmente al equilibrio químico en que se encuentra el sistema representado por la expresión (2).

Aceptadas las conclusiones anteriores, es ya muy fácil saber cuáles son las cantidades de anhídrido carbó-

nico y de hidrógeno sulfurado contenidas en las aguas del pozo Dos Bocas, á la profundidad de la cual provienen esas aguas, es decir, á la profundidad de 1350 metros.

Las aguas del pozo Dos Bocas están siempre saturadas de anhídrido carbónico por las razones ya indicadas, y porque según la reacción (1) este gas se produce en exceso. Por otra parte, á la temperatura de  $69^{\circ}$  C., que es la temperatura aproximada de esas aguas hasta la profundidad de 1350 metros, el hidrógeno sulfurado libre contenido en disolución en las mismas aguas está, por las razones ya mencionadas, en la proporción constante de una molécula de este gas por 3.22 moléculas de anhídrido carbónico. Por último, al aumentar la presión con el aumento de profundidad, es mayor la cantidad de anhídrido carbónico que puede disolverse en el agua hasta saturación de esta última; y para que subsista la proporción anterior de 1 : 3.22 es preciso que aumente también la cantidad de hidrógeno sulfurado libre que contengan esas aguas á la profundidad. Pues bien, esto último es lo que en realidad sucede; porque como dije en uno de los párrafos anteriores: si se aumenta por cualquier procedimiento la cantidad de anhídrido carbónico en el sistema químico representado por la expresión (2), esta reacción progresa de preferencia de izquierda á derecha, y hay entonces mayor producción de hidrógeno sulfurado. Sin variar la presión, el aumento del anhídrido carbónico en el sistema de que me ocupo es imposible; porque como dije ya, el agua del pozo Dos Bocas, á la temperatura de  $69^{\circ}$  C. está saturada de anhídrido carbónico en la superficie del terreno, ó sea á la presión de 760 mm. Pero al aumentar

la presión con la profundidad, sí aumenta también la cantidad de anhídrido carbónico que disuelve el agua hasta saturarse, permaneciendo constante la temperatura de 69° C.; y por lo mismo, aumenta entonces también en la proporción ya indicada la cantidad de hidrógeno sulfurado libre, contenido en el sistema en equilibrio químico, representado por la expresión (2) varias veces mencionada.

Según lo anterior, la reacción (1), ó sea la reducción del sulfato de cal por las materias orgánicas, progresará en el subsuelo hasta que se establezca el equilibrio químico representado por la expresión (2); y entonces el agua contendrá en disolución toda la cantidad de anhídrido carbónico que pueda disolver á la temperatura y presión del lugar donde se verifiquen las reacciones (1) y (2); y además, por cada 3.22 moléculas de anhídrido carbónico disueltas, contendrá también en disolución esa agua una molécula de hidrógeno sulfurado.

La cantidad en peso de anhídrido carbónico que puede disolverse en el agua hasta saturación de este líquido, permaneciendo la temperatura constante, no aumenta exactamente en la misma proporción que la presión<sup>1</sup> sino que aumenta mucho menos rápidamente que la presión hasta 4 ó 5 atmósferas; pero desde 5 atmósferas la cantidad disuelta de ese gas aumenta casi proporcionalmente á la presión.<sup>2</sup>

A 1350 metros de profundidad la presión hidrostática es de  $\frac{13}{10} \frac{50}{33} = 130$  atmósferas. Hasta 7 atmósferas el

1 Ad Wurtz. Deuxième Supplément au Dictionnaire de Chimie pure et appliquée. Paris, 1894, pág. 993.

2 Arthur M. Comey., Loc. cit., pág. 77.

coeficiente de saturación es 5 veces mayor que á la presión ordinaria; <sup>1</sup> pero como de 7 atmósferas en adelante este coeficiente aumenta casi proporcionalmente á la presión, puede decirse que: á 130 atmósferas de presión ese coeficiente es aproximadamente igual á 128.

A la temperatura de 69° C. y á la presión de 760 mm., el agua del pozo Dos Bocas, saturada de anhídrido carbónico, contiene en disolución: 0.590 gramos de este gas por litro de agua, según los resultados analíticos ya mencionados. Permaneciendo casi constante la temperatura de 69° C., á la presión de 130 atmósferas, esa agua saturada de anhídrido carbónico contendrá en disolución, conforme al dato del párrafo anterior:  $0.590 \times 128 = 75.52$  gramos del referido gas, por cada litro de agua.

Dividiendo el peso anterior entre 43.67, se obtiene el número de moléculas de anhídrido carbónico contenidas en disolución en un litro de agua del pozo Dos Bocas, á la temperatura de 69° C. y á la presión de 130 atmósferas. Por lo tanto, este número de moléculas es  $\frac{75.52}{43.67} = 1.729$ . Dividiendo ahora 1.729 entre 3.22 se obtiene:  $\frac{1.729}{3.22} = 0.537$  que es el número de moléculas de hidrógeno sulfurado disueltas en cada litro de agua del pozo Dos Bocas, á la temperatura de 69° C. y á la presión de 130 atmósferas. Este número de moléculas corresponde á:  $0.537 \times 33.83 = 18.18$  gramos de hidrógeno sulfurado disueltos en cada litro de agua á esa temperatura y presión.

En vista de los resultados anteriores puede decirse que: el agua del pozo Dos Bocas á la profundidad de

<sup>1</sup> Arthur M. Comey., Loc. cit., pág. 77.



1350 metros, que es la profundidad de la cual proviene esa agua, contiene en disolución, y en equilibrio químico, aproximadamente: 75.52 gramos de anhídrido carbónico, y 18.18 gramos de hidrógeno sulfurado por cada litro de agua.

Al ascender el agua anterior para la superficie del terreno, la presión va disminuyendo poco á poco; y por lo tanto se van separando del agua también poco á poco los gases disueltos. Al llegar el agua á la superficie del terreno, brotando en el hundido San Diego de la Mar, aunque su temperatura habrá permanecido casi constante durante ese trayecto, la presión ha disminuído desde 130 atmósferas hasta una; y por lo tanto, la mayor parte del anhídrido carbónico y del hidrógeno sulfurado antes disueltos en el agua, se separan de ésta, y al estado gaseoso la acompañan después en su emisión en el hundido mencionado.

Restando los pesos de anhídrido carbónico y de hidrógeno sulfurado contenidos en disolución en el agua del hundido San Diego de la Mar, de los pesos respectivos de los mismos gases disueltos en esa agua á la profundidad de 1350 metros, se obtendrá como diferencia la cantidad en peso de esas substancias, que primero disueltas, se han separado del agua durante el movimiento ascendente de esta última, y que después al estado gaseoso la acompañan en su emisión en el hundido antes mencionado. Es decir:

	En la superficie del terreno, según los resultados de los análisis cuantitativos mencionados.	A la profundidad de 1350 metros, según los resultados de los cálculos anteriores.	Diferencia
	Gramos	Kilogramos	Kilogramos
<i>Anhidrido carbónico</i> , contenido en disolución en un metro cúbico de agua del pozo Dos Bocas.....	590	75.52	74.93
<i>Hidrógeno sulfurado</i> , contenido en disolución en un metro cúbico de agua del pozo Dos Bocas.....	142	18.18	18.038

Calculando los volúmenes correspondientes á los pesos de los gases que acompañan en su emisión al agua anterior, y reduciendo esos volúmenes á la temperatura de 69° C. y á la presión de 760 mm., que son las condiciones en el hundido San Diego de la Mar, se obtienen los siguientes resultados:

$\frac{74.93}{1^{kg} \cdot 034 \times 1.529} = 47.4$  metros cúbicos de anhidrido carbónico, acompañan en su emisión á cada metro cúbico de agua en el hundido mencionado; y

$\frac{18.038}{1^{kg} \cdot 034 \times 1.191} = 14.7$  metros cúbicos de hidrógeno sulfurado, acompañan en su emisión á cada metro cúbico de agua en el hundido San Diego de la Mar.

Como dije en otro lugar, la cantidad de agua que brota en el hundido anterior, aunque variable, no es menor de 0.6 metros cúbicos por segundo. Por lo tanto, y según los resultados que acabo de indicar, las cantidades aproximadas de anhidrido carbónico y de hidrógeno

sulfurado que se desprenden por segundo en el hundido San Diego de la Mar, son las siguientes:

	En volumen	En peso
<i>Anhidrido carbónico</i>		
que se desprende por segundo en el hundido San Diego de la Mar.....	$47^{\text{m}^3}.4 \times 0.6 = 28.44$ metros cúbicos.	$74^{\text{kg}}.93 \times 0.6 = 44.96$ kilogramos.
<i>Hidrógeno sulfurado</i>		
que se desprende por segundo en el hundido San Diego de la Mar.....	$14^{\text{m}^3}.7 \times 0.6 = 8.82$ metros cúbicos.	$18^{\text{kg}}.038 \times 0.6 = 10.82$ kilogramos.

Los resultados anteriores pueden servir para dar una idea de la magnitud y majestuosidad de los fenómenos que han ocurrido en el hundido de San Diego de la Mar, durante el período de régimen intermitente del pozo Dos Bocas.

El estudio de las reacciones químicas anteriores, que había indicado yo en el Boletín 26 del Instituto Geológico Nacional<sup>1</sup> antes de ir á Dos Bocas, fué la razón suficiente que tuve para creer, como dije ya, que no encontraría en ese lugar, como en realidad no encontré, más gases nocivos que el anhidrido carbónico (ácido carbónico), el hidrógeno sulfurado (ácido sulfhídrico), y algunos de los productos de oxidación de este último.

Esa gran cantidad de gases, primero en disolución en el agua y después acompañando á ésta en su emisión, es la causa de todos los fenómenos ocurridos en el pozo

1 L. c., págs. 86-91.

Dos Bocas: desde el ascenso del agua y el régimen intermitente de ese pozo, hasta los perjuicios que en una amplia zona ha ocasionado el aire mezclado con los gases nocivos mencionados.

Indicado ya el origen de esos gases, y la magnitud de su producción, continuaré tratando de explicar los fenómenos ocurridos durante el segundo período de emisiones del pozo á que se refiere este escrito.

\*  
\* \*

Cuando el chapopote se encuentra junto con el agua en una capa porosa, tiende á subir hacia la superficie del terreno, separándose del agua por ser de menor peso específico. Al emigrar así el chapopote, impulsado principalmente por la presión de los gases que siempre lo acompañan, tiende á llenar todos los espacios vacíos que encuentra en su trayecto. De esta manera pasa el chapopote, de las grietas por las cuales asciende, á los tramos porosos de las rocas cortadas por las referidas grietas, y al llenar los espacios vacíos de estas rocas porosas, constituye así receptáculos petrolíferos subterráneos de origen secundario. Como dije antes, estos receptáculos son de forma lenticular en la región de que me ocupo, están situados debajo de una roca impermeable arcillosa, y en ellos se acumulan el chapopote y los gases que siempre lo acompañan.

El pozo núm. 3 de San Diego de la Mar, ó sea el pozo Dos Bocas, á la profundidad de 550 metros cortó ó llegó muy cerca de uno de esos receptáculos petrolíferos subterráneos de origen secundario, en el cual estaban acumuladas grandes cantidades de chapopote

y gases combustibles. La fuerza elástica de estos últimos hizo que el chapopote se elevara por la perforación, y que brotara alcanzando cierta altura sobre la superficie del terreno. La emisión del chapopote en gran cantidad continuó mientras existía en el receptáculo petrolífero subterráneo un exceso de gases y de chapopote acumulados.

Las rocas sedimentarias neogénicas de esa localidad están por lo general poco consolidadas tanto en la superficie del terreno como á la profundidad. Esto ha sido demostrado por las perforaciones hechas en San Diego de la Mar, las cuales han cortado á diversas profundidades margas plásticas muy suaves, como dije en otro lugar. Esa poca consolidación de las margas ocasionó lo siguiente: á medida que el chapopote brotaba dejando un vacío en lo que he llamado receptáculo petrolífero subterráneo, y que disminuía la presión de los gases allí acumulados, el terreno tendía á descender para cerrar, por lo menos en parte, los espacios vacíos existentes en las rocas poco consolidadas. Este descenso comenzó á producir grietas y también hundimientos del terreno en las cercanías del pozo Dos Bocas, hundimientos que desde entonces fueron en aumento á medida que era mayor la cantidad emitida de chapopote, y la de arcilla y marga transportada por el agua, del interior á la superficie del terreno. De esta manera comenzó á formarse lo que he llamado hundido de San Diego de la Mar.

Debajo del chapopote, especialmente en la grieta ó grietas por donde se verifica la alimentación del receptáculo petrolífero secundario alcanzado por el pozo Dos Bocas, se encontraba el agua salada, termal y saturada

de gases. Este hecho se observó también en el célebre pozo Lucas en Beaumont (Texas), en donde se encontró el agua termal abajo del petróleo, y éste sale caliente por el referido pozo.

La fuerza elástica de los gases disueltos en el agua, fué la poderosa fuerza latente que impulsó á esa agua haciéndola ascender por el pozo Dos Bocas, hasta brotar en la superficie del terreno. Cuando esta agua termal salió, había brotado ya la mayor parte del chapopote y gases combustibles acumulados antes en el receptáculo petrolífero subterráneo; y por lo tanto, terminada ya esta reserva, la cantidad de chapopote que sigue saliendo por el mismo pozo en la unidad de tiempo, depende principalmente de la cantidad de chapopote que en igual tiempo asciende al receptáculo petrolífero secundario por las grietas que lo alimentan. Por estas grietas asciende también el agua caliente, la cual sirve de vehículo al chapopote que encuentra diseminado en su trayecto, y lo eleva hasta la superficie del terreno.

El agua termal en su circulación subterránea ascendente, no sólo sirve de vehículo al chapopote, sino que ejerce también un trabajo de erosión sobre las rocas poco consolidadas por las cuales circula, y transporta hasta la superficie del terreno regular cantidad de arcilla y marga, como dije en otro lugar. Esta erosión subterránea y transporte de material hasta la superficie del terreno, origina la formación de cavidades ó espacios vacíos que alteran notablemente la estabilidad de ese terreno. Al restablecerse el equilibrio se verifican hundimientos, los cuales aumentan las dimensiones de la depresión que he llamado el hundido San Diego de la Mar. Además, los hundimientos anteriores cierran ú obstru-

yen en parte los trayectos por los cuales se verifica actualmente el ascenso de las aguas termales, saladas y gaseosas.

La fuerza elástica de la gran cantidad de gases disueltos en el agua á la profundidad de 1350 metros en San Diego de la Mar, explica el movimiento ascendente del agua. En efecto, á medida que esta última se acerca á la superficie del terreno la presión hidrostática va disminuyendo, y tanto el anhídrido carbónico como el hidrógeno sulfurado se van separando en forma de burbujas. Esto hace más ligera<sup>1</sup> la parte superior de la corriente de agua ascendente, lo cual ocasiona que sea menor la presión que esta parte ejerce sobre la inferior de la misma corriente; y por lo tanto, en esta última el agua abandona también en forma de burbujas una parte del exceso de gases que contiene en disolución á la profundidad. Esta separación rápida de los gases antes aprisionados en el agua, explica el ascenso espontáneo é impetuoso de este líquido en el pozo de que me ocupo.

El trayecto que estas aguas recorren en rocas consolidadas puede ser en algunas partes más bien horizontal que vertical; y en esas partes más bien horizontales pueden existir cavidades en el techo, partes gibosas del trayecto formadas por hundimientos como he dicho, ó por erosión subterránea hecha por las mismas aguas termales en su circulación ascendente. Estas gibas, y en general todas las cavidades que se encuentren situadas en posición semejante á las anteriores en el trayecto de las aguas termales mencionadas, se llenarán con

---

1 A. Daubrée. Les Eaux Souterraines à l'époque actuelle. Paris. 1887. Tomo I, págs. 373 á 375.

los gases que en forma de burbujas se van separando del agua al ascender esta última. Los gases se irán acumulando en las cavidades anteriores hasta que su tensión sea suficiente para provocar un ascenso rápido, ó emisión violenta del agua termal. Esta emisión violenta ocasionada por el motivo anterior, no se repetirá hasta que se hayan acumulado de nuevo los gases en las gibas mencionadas, y que hayan adquirido éstos la presión necesaria para provocar otra emisión violenta; y por lo tanto, estas emisiones violentas tienen que ser intermitentes. Además, como las rocas neogénicas de la región en partes están poco consolidadas; y como las aguas en su trabajo de erosión subterránea, revelada por la gran cantidad de material que han transportado hasta la superficie del terreno, tienden á desgastar de preferencia á las margas y arcillas poco consolidadas, se forman en esta roca cavidades de mayor ó menor importancia. Las cavidades en estas rocas no pueden quedar abiertas por mucho tiempo, sino que la gravedad tiende á cerrarlas para restablecer así la estabilidad del terreno.

Al cerrarse, aunque sea parcialmente, las grietas ó cavidades por las cuales se verifica la circulación subterránea del agua gaseosa, esta circulación se entorpece, y la cantidad de agua que asciende es entonces muy pequeña, ó nula cuando la obstrucción de una parte del trayecto ha sido completa. Entonces los gases se acumulan detrás del obstáculo hasta llegar á adquirir presión suficiente para vencer esa resistencia y abrir de nuevo su camino al agua, la cual se eleva desde luego con rapidez, su emisión es violenta, y está acompañada por la gran cantidad de gases acumulados para vencer



la resistencia opuesta por el derrumbe del terreno. De esta manera la fuerza elástica de los gases aprisionados en el agua, luchando constantemente con la gravedad, ocasiona emisiones violentas é intermitentes de agua y gases en el hundido San Diego de la Mar.

Según la explicación anterior, el régimen intermitente del pozo Dos Bocas no podía comenzar sino hasta que hubiera sido emitida por él gran cantidad de chapopote, pues hasta entonces podría haber vacíos subterráneos que sirvieran de receptáculo para la acumulación de los gases, acumulación á la cual son debidas las emisiones violentas, aunque intermitentes, del referido pozo. Lo anterior está comprobado por los hechos, pues no fué sino hasta los últimos días de Agosto de 1908 cuando comenzó el régimen intermitente del pozo, después de haber brotado el chapopote continuamente desde principios de Julio del mismo año. Al comenzar á brotar el agua termal, y al transportar ésta hasta la superficie del terreno gran cantidad de arcilla y marga, comenzó la formación de cavidades que servían de receptáculos para la acumulación de los gases, comenzaron los derrumbes subterráneos y las obstrucciones del trayecto seguido por las aguas en su movimiento ascendente, cavidades y obstrucciones que permitían la acumulación de gases; y tanto por una como por otra causa, el régimen del pozo tenía que ser intermitente, por lo menos en sus emisiones violentas. Los derrumbes subterráneos se revelaron en la superficie del terreno por hundimientos; y tanto por esto, como por la acción del oleaje sobre los bordes del hundido San Diego de la Mar, estos bordes caen en la depresión anterior, y

así el hundido va ganando en superficie lo que pierde en profundidad.

Como se ve, la gravedad por una parte tiende á producir derrumbes y á obstruir el trayecto que sigue el agua en su circulación subterránea ascendente; y por otra parte, la fuerza elástica de los gases aprisionados en esas aguas tiende á vencer á la gravedad, salvando los obstáculos y resistencias que producen en el trayecto de las aguas los hundimientos del terreno. Esta lucha entre dos fuerzas tan poderosas llegará á un límite, al fin vencerá la gravedad, cuando haya salido al exterior la mayor parte de los gases, anhídrido carbónico é hidrógeno sulfurado, producidos según las reacciones (1) y (2), y acumulados en el subsuelo durante un largo período de tiempo. Después seguirá verificándose la reacción (1), seguirá la materia orgánica reduciendo al sulfato de cal; pero como esta reacción es muy lenta aun á la temperatura de  $69^{\circ}$  C., la producción del anhídrido carbónico será muy pequeña en la unidad de tiempo. Entre tanto, la gravedad continuará su obra de restablecimiento de la estabilidad del terreno, lo cual traerá como consecuencia la obstrucción más ó menos completa de las cavidades y grietas subterráneas abiertas en las rocas poco consolidadas. Entonces tendrá que transcurrir más tiempo para que los gases aprisionados en el agua puedan alcanzar la presión suficiente para vencer esas resistencias; y por lo tanto, las emisiones irán siendo cada vez más tardías, hasta que por fin terminen por completo, y con ellas terminarán también todos los fenómenos que han ocurrido en el pozo Dos Bocas durante sus distintos períodos de emisiones.

Los gases antes mencionados, además de la acción mecánica anterior han desempeñado otros papeles también muy interesantes, como paso á demostrarlo.

El anhídrido carbónico apareció en el pozo Dos Bocas junto con el agua termal, al comenzar á establecerse el régimen intermitente de este pozo. Ese gas sale desde entonces en la gran cantidad ya indicada, y que es aproximadamente: 28.44 metros cúbicos por segundo, ó sea 44.96 kilogramos en el mismo período de tiempo. Ahora bien, el anhídrido carbónico impide la combustión, razón por la cual se le emplea con éxito como extinguidor de incendio. En el caso del pozo Dos Bocas, desempeñó sin duda este último papel; y tanto por las intermitencias en la emisión de chapopote, como por la presencia de una cantidad tan grande de anhídrido carbónico, terminó repentinamente el incendio en ese pozo, sin el auxilio de medio alguno artificial, pues todos estos fueron tan impotentes como inútiles.

Además, el hidrógeno sulfurado resinificó al petróleo, sulfurándolo y transformándolo en un chapopote viscoso, de color negro, muy denso, desprovisto de productos ligeros y difícilmente inflamable. Como dije ya, el agua termal que brota en el hundido San Diego de la Mar sirve de vehículo al chapopote que encuentra diseminado en su trayecto, y lo lleva hasta la superficie del terreno. Esto es verdaderamente excepcional en México, pues en ninguna de las regiones petrolíferas de los Estados de Tamaulipas, San Luis Potosí y Veracruz ha brotado tanta agua por un pozo; y por el contrario, puede decirse que en casi todas esas regiones no se ha encontrado agua en el subsuelo, ó ha sido hallada en muy pequeña cantidad. Por la acción del hidrógeno sul-

furado, contenido en las aguas del pozo Dos Bocas, sobre el petróleo, disminuye en éste la cantidad de "petrolena," desaparecen los aceites ligeros, y no solamente varía la composición química del petróleo, sino que varían también sus propiedades físicas: el petróleo pierde su fluidez hasta llegar á endurecerse,<sup>1</sup> y aumenta de una manera notable su peso específico.<sup>2</sup> Todo lo anterior quedó comprobado por los análisis físico-químicos del chapopote de Dos Bocas, hechos por los químicos del Instituto Geológico Nacional, análisis que dieron los resultados que indicaré más adelante.

En el hundido San Diego de la Mar, el chapopote sale mezclado con arcilla y marga, como dije en otro lugar. La cantidad de arcilla es variable, y por esto unas veces se ve pasar por el arroyo de Dos Bocas un chapopote viscoso, y á veces fluido, cuando va mezclado con muy pequeña cantidad de arcilla y marga; y en cambio, otras veces el chapopote está mezclado con mucha arcilla y entonces es esponjoso. Se creía en el lugar que esto es debido á que el chapopote ya sale quemado, y creían que así se explicaba también por qué ese chapopote no contiene aceites ligeros; pero esta explicación no es aceptable, porque la temperatura del chapopote es solamente de 69° C. muy baja para que debido á ella el petróleo perdiera sus aceites ligeros, los cuales destilan á temperatura más alta que la mencionada. La ausencia de aceites ligeros en ese chapopote se explica, porque éste se ha resinificado por la acción del hidró-

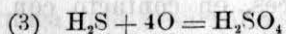
---

1 A. S. Cooper. The Genesis of Petroleum and Asphaltum in California. California State Mining Bureau. Boletín 16. 1899, pág. 40.

2 Charles F. Mabery. On the Composition of American Petroleum. Proc. Am. Phil. Soc. Tomo XXXV, 1897, pág. 130.

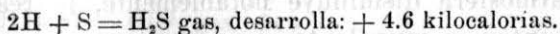
geno sulfurado sobre el petróleo; y la diferente consistencia del chapopote de Dos Bocas es debida sobre todo á la cantidad variable de arcilla, con la cual sale mezclado el referido chapopote.

Por otra parte, el hidrógeno sulfurado gaseoso en contacto con el oxígeno del aire se oxida, y produce compuestos diferentes según son las proporciones relativas de los dos gases, y la temperatura á la cual se verifica la reacción. En las condiciones en que se encuentra el hundido San Diego de la Mar, puede decirse que el hidrógeno sulfurado gaseoso se halla en gran cantidad, aunque el oxígeno está en exceso, que la atmósfera es húmeda, y la temperatura varía entre 20 y 40° C. á la intemperie, en los últimos días de Noviembre. En estas condiciones, el hidrógeno sulfurado gaseoso y húmedo, en contacto con el aire, se oxida en parte, transformándose en ácido sulfúrico, de acuerdo con la siguiente expresión:

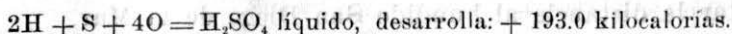


Esta reacción es exotérmica, y desarrolla: +188.4 kilocalorías, como se ve por el siguiente cálculo:

ESTADO INICIAL



ESTADO FINAL



DIFERENCIA:

$$\text{Estado final} - \text{Estado inicial} = + 193.0 - 4.6 = + 188.4$$

Esta reacción no se realiza en frío cuando los gases están secos, pero sí cuando son húmedos como en el

presente caso. La reacción es lenta, pero su velocidad es mayor cuando se eleva un poco la temperatura.<sup>1</sup>

Al formarse el ácido sulfúrico muy cerca de los bordes del hundido San Diego de la Mar, según la reacción (3), se condensa en forma de niebla, por no ser volátil á la temperatura atmosférica.

La reacción anterior se produce, como es bien sabido, en los establecimientos de baños sulfurosos, y ella explica la destrucción rápida de las telas y ropa que se usan en esos establecimientos. En efecto, las telas húmedas se impregnan de ácido sulfúrico cuando la atmósfera contiene hidrógeno sulfurado, el cual se oxida en contacto con las referidas telas; y como ese ácido es muy cáustico, la ropa se quema y se destruye fácilmente. En condiciones semejantes á las de las telas anteriores se encuentran las mucosas húmedas de las personas que se acercan mucho al hundido San Diego de la Mar, por los lugares en donde hay un exceso de hidrógeno sulfurado. Entonces, en contacto con las mucosas se forma el ácido sulfúrico, el cual ocasiona la inflamación de las mismas mucosas.

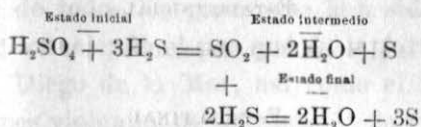
Al aumentar la distancia al hundido San Diego de la Mar, la cantidad de hidrógeno sulfurado contenido en la atmósfera disminuye notablemente, la reacción (3) es entonces muy lenta, y por lo tanto la producción de ácido sulfúrico es insignificante ó nula al aumentar la distancia al hundido San Diego de la Mar.

El ácido sulfúrico formado según la reacción (3), ataca al hidrógeno sulfurado en exceso con producción de anhídrido sulfuroso. En las condiciones del hundido

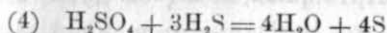
<sup>1</sup> Ad. Wurtz. Dictionnaire de Chimie. 1876. Tomo 2<sup>o</sup>, 2<sup>a</sup> parte, pág. 603.

San Diego de la Mar no es mucha la extensión que alcanza esta reacción química; y tanto por esto, como porque el anhídrido sulfuroso ataca también al hidrógeno sulfurado transformándose en agua y azufre, es muy pequeña la cantidad de anhídrido sulfuroso contenido en la atmósfera muy cercana del hundido San Diego de la Mar. Esta cantidad, según los análisis ya mencionados, es en peso de 1.7 por 1000 partes de aire, en los lugares en donde se halla en la atmósfera mayor cantidad de hidrógeno sulfurado.

Las últimas reacciones anteriores se pueden representar aproximadamente como sigue:



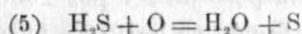
ó sea:



reacción exotérmica que desarrolla: + 26 kilocalorías, como se ve por el siguiente cálculo:

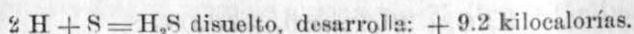
ESTADO INICIAL	
2H + S + 4O = H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> líquido,	
desarrolla .....	+ 193.0 kilocalorías.
3 (2 H + S) = 3H <sub>2</sub> S gas, des-	
arrolla .....	3 × 4.6 = + 13 8 kilocalorías.
Suma .....	+ 206.8 kilocalorías.
ESTADO FINAL	
4 (2H + O) = 4H <sub>2</sub> O vapor, des-	
arrolla .....	4 × 58.2 = + 232.8 kilocalorías.
DIFERENCIA:	
Estado final — Estado inicial = + 232.8 — 206.8 = + 26.0 kilocalorías.	

El hidrógeno sulfurado contenido en disolución en el agua del hundido San Diego de la Mar, se oxida al ponerse en contacto con el aire; pero como se encuentra el primero en disolución, al oxidarse se transforma en agua con depósito de azufre, y sólo se forma una cantidad muy pequeña de ácido sulfúrico.<sup>1</sup> Esta reacción puede representarse aproximadamente como sigue:

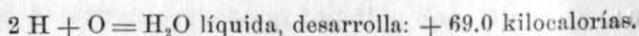


reacción exotérmica que desarrolla +59.8 kilocalorías, conforme al siguiente cálculo:

ESTADO INICIAL



ESTADO FINAL



DIFERENCIA:

$$\text{Estado final} - \text{Estado inicial} = +69.0 - 9.2 = +59.8 \text{ kilocalorías.}$$

En vista de la reacción anterior (5), puede decirse que: el agua después de recorrer la distancia tan grande que separa al hundido San Diego de la Mar de la laguna de Tamiahua, siguiendo el arroyo Dos Bocas, llega á la laguna mencionada conteniendo una cantidad insignificante ó nula de hidrógeno sulfurado. Además, como la mayor parte del anhídrido carbónico contenido en disolución en el agua se desprende cuando se aerea está solución,<sup>2</sup> puede decirse que: al llegar á la laguna de

1 Ad. Wurtz. Dictionnaire de Chimie. 1876. Tomo 2º, 2ª parte, pág. 1602.

2 Arthur M. Comey. Loc. cit., pág. 77.



Tamiahua el agua del hundido San Diego de la Mar contiene en disolución una cantidad insignificante de este otro gas. Por último, el agua mencionada tampoco contiene en disolución cantidad notable de sulfuro de calcio al llegar á la laguna de Tamiahua; porque este sulfuro disuelto en el agua se oxida al contacto con el aire, y se forma thiosulfato de cal (hiposulfito de cal).

\*  
\* \*

Concluído ya el estudio de los fenómenos que han ocurrido en el pozo Dos Bocas; explicado el origen del petróleo y el de todos los gases que han sido emitidos por ese pozo; conociendo el por qué de la formación del hundido San Diego de la Mar, así como el mecanismo de las emisiones violentas de este pozo, y la causa de su régimen intermitente, se puede concluir diciendo: que ninguno de los fenómenos ocurridos en el pozo Dos Bocas está en relación alguna con el volcanismo; y que no hay necesidad de recurrir á la intervención de vapores volcánicos, para explicar las emisiones violentas que ocurren en el pozo mencionado.

#### Obras encaminadas á evitar los daños y peligros ocasionados por el pozo Dos Bocas

Los daños ocasionados por el pozo Dos Bocas han sido: unos muy locales, y otros han alcanzado distancias considerables. Entre los primeros debo mencionar como de mayor importancia: el hundimiento del terreno alrededor del pozo; la salida por el río Carbajal del chapopote y la arcilla, con peligro de que se azolvára esta

vía fluvial, y se perjudicara la navegación por ella; y por último, el desprendimiento por el pozo de gran cantidad de gases nocivos y venenosos, los cuales se hallan en exceso en la zona de peligro ya limitada. Los daños á largas distancias han sido ocasionados por el hidrógeno sulfurado, el cual ennegreció las pinturas hechas con compuestos de plomo ó cobre, y también originó conjuntivitis y laringitis á las personas que viven en las cercanías del pozo mencionado.

Además de los daños anteriores, se temió que el incendio de este pozo se propagara por los montes cercanos, y que la quemazón alcanzara grandísimas proporciones. Para evitar esto se procuró apagar el incendio del pozo lo más pronto posible; y al efecto se instalaron bombas poderosas que arrojaron al pozo grandes cantidades de agua y de arena, sin resultado; sino que como dije antes, el incendio terminó repentinamente al comenzar el régimen intermitente del pozo, y la emisión de grandes cantidades de anhídrido carbónico (ácido carbónico), el cual desempeñó un papel muy interesante en la extinción de ese incendio. Este último no se propagó á los montes cercanos, y puede decirse que casi nada sufrió la vegetación en los alrededores del pozo Dos Bocas.

Para impedir el azolve del río Carbajal se levantaron varios bordos y un dique, con el poderoso auxilio del Batallón de Zapadores. De esta manera se desvió la corriente de agua para el lugar llamado Dos Bocas, que es por donde cae ahora el agua y el chapopote á la laguna de Tamiahua; y por lo tanto puede decirse que el pozo Dos Bocas, no está ocasionando ahora ningún perjuicio á la navegación por el río mencionado. Sin

embargo, como es divagante el curso del agua por la ciénaga de San Diego de la Mar (láms. V y VI), es necesario no abandonar las obras de desviación de la corriente de esa agua, cuidando de que ésta se dirija siempre hacia el lugar llamado Dos Bocas, y no por el río Carbajal.

Las obras de captación del chapopote, que impedirán llegue esta substancia hasta la laguna de Tamiahua, no habían dado resultado hasta la fecha de nuestra visita al pozo Dos Bocas. La primera de estas obras fué el dique levantado por el Batallón de Zapadores (lám. XXIII), el cual no sirvió para captar el chapopote porque se rompió pocas horas después de concluído; y por la brecha abierta (lám. XXIV), está saliendo el agua y el chapopote para la ciénaga de San Diego de la Mar, y de ésta sigue para Dos Bocas, en donde cae á la laguna de Tamiahua. (Láms. II y XXVII). Este dique se levantó muy cerca del pozo Dos Bocas (lám. III), y esto hizo que no pudiera permanecer cerrado, pues el oleaje en es lugar es bastante fuerte, muchas veces cruza al dique, y como éste es de tierra y troncos de árbol, no resistió como se deseaba y esperaba.

En la época de nuestra visita á esa región, y para captar al chapopote que sale todavía por el pozo Dos Bocas, se estaba construyendo la segunda obra, que es un puente sobre pilotes (lám. XXV), situado mucho más distante del pozo de lo que está el dique (lám. III). En los pilotes del lado del hundido San Diego de la Mar, en el tramo en que el puente corta al arroyo, se van á poner tablas, de tal manera que su parte inferior se encuentre muy poco abajo del nivel del agua en ese arroyo. De esta manera, las tablas detendrán á la tela

de chapopote que flota en el agua, y ésta última seguirá su curso actual. El chapopote acumulado pasará á un receptáculo cuyo borde superior estará un poco arriba de ese nivel del agua; y por medio de bombas se elevará al chapopote de este receptáculo para los tanques representados en las láminas XX, XXI, XXII y XXVI.

Quando llegue á hacerse la captación del chapopote en San Diego de la Mar, no se formarán ya las planchas de esa substancia que flotan, aunque pequeñas y en corto número, en la laguna de Tamiahua cerca del lugar llamado Dos Bocas, al Norte-Poniente de la desembocadura del río Carbajal. Estas planchas de chapopote se encuentran en la laguna á merced de los vientos que soplan del Norte, y no son peligrosas; porque siendo tan pocas y tan pequeñas no perjudican absolutamente en nada á la navegación por esa laguna, ni en sus partes más cercanas del lugar llamado Dos Bocas. Tampoco son un peligro de incendio, porque ese chapopote sólo puede inflamarse á elevada temperatura, 200° C., según los experimentos hechos en el Laboratorio de Química del Instituto Geológico de México.

La pesca en la laguna de Tamiahua nada ha sufrido, pues basta ver en las láminas II y XXVII cuál es la extensión de esa laguna, para comprender que el chapopote que se halla en una zona de dos kilómetros alrededor del lugar llamado Dos Bocas, no puede ocasionar perjuicio alguno á la pesca en toda esa extensa laguna. Por otra parte, el agua que sale del hundido San Diego de la Mar al llegar á la laguna de Tamiahua casi no contiene substancias nocivas, como lo indiqué en el Capítulo anterior.

Para evitar por completo los perjuicios ocasionados

por los gases que se desprenden del hundido San Diego de la Mar, ninguna obra se ha hecho, y ninguna deberá hacerse; pues cualquier medio artificial para evitar la emisión de esos gases sería impotente, y por lo mismo inútil. La gravedad por una parte, y por otra el tiempo, son los dos factores que con seguridad harán terminar los fenómenos que aun ocurren en el pozo Dos Bocas. La primera originando los hundimientos que tienden á obstruir los trayectos que el agua y los gases siguen para llegar á la superficie del terreno; y el segundo, durante el cual terminará la emisión de los gases acumulados en el subsuelo en un largo período de tiempo. Evitar la salida del agua y los gases en el hundido San Diego de la Mar es una quimera, y cualquier procedimiento que se siguiera sería tan impotente, como inútiles fueron los ejecutados para apagar el incendio.

Los daños que hasta ahora han sufrido los trabajadores dentro de la zona de peligro ya limitada en la lámina IV, sí pueden evitarse con las siguientes precauciones: No se permitirá que la gente trabaje dentro de la zona de peligro mencionada, en los lugares donde tenga que respirarse el aire después de haber pasado éste por el hundido de San Diego de la Mar. Como la dirección del viento cambia mucho durante el día, sólo se trabajará en cada uno de los sectores señalados en la lámina IV, las horas durante las cuales el aire pase por ellos antes de llegar al hundido que acabo de mencionar. Se proporcionará á cada trabajador ó grupo de trabajadores, suficiente cantidad de solución diluída de amoníaco en agua, para que con ella humedezcan lienzos que les protejan la nariz y la boca, durante todo el tiempo que tengan que estar esos trabajadores dentro

de la zona de peligro limitada como se ve en la lámina IV. Además, se regarán frecuentemente con lechada de cal, los lugares en donde se encuentren los trabajadores dentro de la zona mencionada. En todas las habitaciones de empleados, cuartos de peones, etc., que se hallan en el campamento de San Diego de la Mar, se pondrán receptáculos con cal debajo ó cerca de las camas, para que esa cal fije al anhídrido carbónico (ácido carbónico) y al hidrógeno sulfurado (ácido sulfhídrico), y de este modo se purifique la atmósfera en las referidas habitaciones. La cal que se ponga en estas últimas deberá cambiarse con frecuencia. Se prohibirá el que la gente se acerque al hundido San Diego de la Mar sin las precauciones ya indicadas. Se colocarán grandes avisos en los caminos cercanos á este hundido indicando el peligro, prohibiendo acercarse á esa depresión, y diciendo debe transitarse por allí con la mayor rapidez posible.

Fuera de la zona de peligro ya indicada, y principalmente en los sectores *A* y *B* del Poniente de la lámina XXVII, deberán también ponerse receptáculos con cal en las habitaciones, con objeto de fijar al anhídrido carbónico que se halla en exceso en el aire por allí, y de este modo se purificará la atmósfera que se respira. Además, en estos sectores no deberán emplearse por ahora pinturas hechas con compuestos de plomo ó cobre, porque se ennegrecen; pero sí pueden usarse el blanco de zinc y los compuestos colorantes de fierro.

El temor de que pueda incendiarse otra vez el pozo Dos Bocas me parece completamente infundado; pues en la atmósfera cercana de ese pozo hay una gran cantidad de anhídrido carbónico (ácido carbónico), según

los análisis cuantitativos ya indicados; y como este anhídrido impide la combustión, no es de temerse se incendie un chapopote que no sale ya acompañado de hidrocarburos gaseosos y que sólo se inflama á una temperatura mínima de 200° C. como dije en otro lugar.

Los perjuicios ocasionados á los dueños de los terrenos que se inundaron con el agua salida por el pozo, y al dueño de los terrenos hundidos, sólo con dinero pueden ser indemnizados. En cambio, todos los perjuicios que el hidrógeno sulfurado emitido por el pozo Dos Bocas, ha ocasionado á largas distancias, creo que están suficientemente indemnizados con el reclamo que ese pozo ha hecho de toda la región petrolífera de Tuxpan, lo cual ha traído como consecuencia inmediata una alza notable en el precio de todos esos terrenos, y pará más tarde el desarrollo de la industria y del comercio en toda esa interesante región petrolífera que he llamado de Tuxpan.

#### Conveniencia de continuar las obras emprendidas en el pozo Dos Bocas

Conviene continuar las obras de captación del chapopote ya indicadas, porque así se impedirá que siga cayendo esa substancia en la laguna de Tamiahua por el lugar llamado Dos Bocas; y también conviene continuarlas, porque tienen además por objeto evitar que la corriente de agua lodosa se dirija del hundido San Diego de la Mar para el río Carbajal. Por otra parte, no hay inconveniente en que los trabajadores penetren á la zona de peligro antes limitada, siempre que lo hagan con las precauciones que indiqué en uno de los pá-

rrafos anteriores, sobre todo en lo relativo á retirar á la gente tan pronto como llegue al lugar en que trabaje el aire que acaba de pasar por el hundido San Diego de la Mar.

Hacer otras obras en el hundido anterior sería completamente inútil, como he dicho ya; pero en cambio, debe recomendarse continúe con actividad la exploración de toda esa parte Norte de la interesante región petrolífera que he llamado de Tuxpan, exploración que debe hacerse con todas las precauciones recomendadas en casos semejantes, para evitar hasta donde sea posible la repetición de incendios, que son verdaderos derroches de uno de los recursos naturales de grandísima importancia para México.

La parte Norte del Cantón de Tuxpan y la Sur-Este del de Ozuluama son una región petrolífera sumamente interesante, y que hasta ahora está muy poco explorada. Las manifestaciones superficiales del petróleo del subsuelo se encuentran en esta región tanto al Norte, como al Sur y al Oriente de la Sierra de Otontepec ó de Tantina: al Norte, por San Diego de la Mar y San Jerónimo; al Este, por San Marcos, San Sebastián y Tangüijo; y al Sur, desde Tepezintla, por Cerro Azul, Juan Felipe, Cerro Solís, Tierras Amarillas, Santa Teresa, Cerro Viejo, y hacienda Chapopote, hasta los ranchos de Tumbadero y Jacubal. En todos los lugares en donde se han abierto perforaciones en esa región, se ha encontrado á poca profundidad chapopote fluido. Son una prueba de esto, los pozos abiertos en Cerro Viejo, hacienda Chapopote, rancho Tumbadero, y las perforaciones de San Diego de la Mar. Son muchas las chapopoteras que hay en esta región, en ellas el chapopote brota acom-



pañado de gases combustibles, y también en algunas de agua sulfurosa. Merecen especial mención entre estas chapopoterías: las de Cerro Azul, Juan Felipe, Tierras Amarillas, Cerro Viejo y hacienda Chapopote, cerca de Tuxpan. Estas chapopoterías son las que producen mayor cantidad de chapopote fluido en toda la costa del Golfo de México, desde Soto la Marina en el Norte, hasta Puerto México (Coatzacoalcos) al Sur. Los hidrocarburos líquidos de esta región están más ó menos oxidados y sulfurados, son chapopotes como los de las otras regiones petrolíferas de los Estados de Tamaulipas, San Luis Potosí y de Veracruz, pero en la región de Tuxpan parece encontrarse el chapopote en mayor cantidad relativa que en las otras regiones petrolíferas de los Estados antes mencionados. La región de Tuxpan está muy poco explorada como he dicho; pero es probable que se obtenga gran cantidad de chapopote al hacer perforaciones en las cercanías de la sierra de Tantima, principalmente por el cerro llamado Chapopote, al Norte de Tepezintla, por Cerro Azul, Tierras Amarillas y Cerro Viejo.

En vista de lo anterior es de recomendarse la exploración activa en la zona petrolífera que he llamado de Tuxpan ( lám. XXVII ); pero esta exploración debe hacerse con multitud de precauciones para evitar los fracasos y la pérdida completa de los grandes capitales que es necesario invertir en esta clase de empresas.

Como dije antes, no solamente en San Diego de la Mar he observado la asociación del chapopote con el hidrógeno sulfurado, sino también en otras chapopoterías de la misma región petrolífera de Tuxpan; por lo tanto, es de esperarse que el chapopote que se obtenga en esta

región estará más ó menos sulfurado y resinificado, y es probable que salga acompañado de agua sulfurosa en mayor ó menor cantidad.

Antes de terminar esta parte de mi escrito voy á indicar los resultados de los análisis del chapopote emitido por el pozo Dos Bocas á fines de Noviembre de 1908. La gran cantidad de agua sulfurosa que brota por ese pozo y que sirve de vehículo al chapopote, ha resinificado á este último, empobreciéndolo en aceites ligeros de ebullición baja; y por otra parte, como sale el chapopote mezclado con arcilla en cantidad variable, esto lo hace impropio para usarlo como combustible líquido, pero se podrá usar ese chapopote en la pavimentación.

El peso específico del chapopote que brota en el hundido San Diego de la Mar varía con la cantidad de arcilla que tiene mezclada ese chapopote; y aunque es en promedio 1.035, á veces su peso específico es mayor. En este último caso el chapopote se deposita en la ciénaga situada al Oriente del hundido anterior, junto con la arcilla que lleva el agua en suspensión. Después, en el lodo que llena ahora esa ciénaga, se ven salir en varias partes gotas de chapopote, que impulsado por los gases que lo acompañan abre su trayecto por ese lodo, y brota en la superficie de la mencionada ciénaga.

Los resultados de los análisis industriales del chapopote que brota actualmente en el hundido San Diego de la Mar, son los siguientes:



## CONCLUSIONES

Resumiendo el estudio anterior, pueden indicarse las siguientes conclusiones:

En el lugar llamado San Diego de la Mar, situado en el Cantón de Ozuluama del Estado de Veracruz, á 720 metros de distancia al Norte de la margen izquierda del río Carbajal (lám. III), la Pennsylvania Oil Co. y la casa S. Pearson & Son, abrieron entre otros el pozo número 3 de San Diego de la Mar. Después este pozo ha sido llamado indebidamente "Pozo Dos Bocas," y digo indebidamente, porque el lugar de este último nombre está situado á cuatro kilómetros al Norte del pozo mencionado.

La forma general del terreno en los Cantones de Ozuluama y Tantoyuca del Estado de Veracruz es ligeramente ondulada, presentando varias eminencias de poca altura, y algunos macizos montañosos importantes que le dan un aspecto pintoresco. El descenso general del terreno es del Sur hacia el Norte, y es notable la amplitud alcanzada por los fenómenos de erosión y transporte en toda esa región.

Las rocas que afloran en la región anterior son sedimentarias en su mayor parte: terciarias neogénicas, generalmente cubiertas por formaciones cuaternarias, al Norte, al Este y al Centro; neocretácicas al Sur-Poniente; y eruptivas basálticas al Sur-Oriente de la región. Muchas de estas rocas están allí poco consolidadas, sobre todo las margas de color gris ó gris azulado.

Las perforaciones de San Diego de la Mar han cortado arcillas y margas, á veces plásticas y otras apiza-

rradas y duras; y encontraron, además, chapopote y gases combustibles á varias profundidades, desde los 67 hasta los 591 metros.

El llamado "Pozo Dos Bocas" encontró: á los 67 metros chapopote, á los 243 gases combustibles en pequeña cantidad, á los 261 aumentó la cantidad de gas, y á los 750 metros de profundidad el pozo fué brotante (gusher).

San Diego de la Mar se encuentra en la región petrolífera que he llamado de Tuxpan, y tanto en esta como en las otras regiones de los Estados de Tamaulipas, San Luis Potosí y Veracruz, los receptáculos petrolíferos subterráneos tienen principalmente la forma de lentes, relativamente de pequeñas dimensiones por lo general, están diseminadas en una gran extensión de terreno, y se hallan también muy diseminadas á la profundidad.

El petróleo en las regiones anteriores parece ser un producto de la descomposición de la materia animal, proporcionada por una fauna marina que se extinguió paulatinamente al variar el nivel del mar en esas regiones; y después el petróleo se resinificó, por sulfuración principalmente, transformándose en un chapopote más ó menos viscoso.

Tan pronto como el pozo Dos Bocas fué brotante, el chapopote se incendió, fenómeno que atrajo hacia ese lugar á multitud de visitantes, y motivó que el cable se ocupara en transmitir la noticia por todo el mundo. El incendio comenzó el 4 de Julio de 1908, y terminó el 30 de Agosto del mismo año. En ese tiempo se publicaron muchos datos relativos á la producción de chapopote en ese pozo, datos que considero muy exagerados,

lo mismo que los que se han publicado después de concluído ese incendio.

La publicación en la prensa diaria de México de noticias referentes al pozo Dos Bocas, unas muy exageradas y otras completamente falsas, dió por resultado: que se alarmaran todos los habitantes de los Cantones de Ozuluama, Tantoyuca y Tuxpan; que se designara á toda esa región como mortífera, de límites desconocidos, pero que se suponían muy extensos; que se dijera nadie podía penetrar á esa zona sin poner su vida en peligro eminente; y que se dificultara mucho el obtener trabajadores para las obras de captación del chapopote, y para continuar la exploración de aquella interesante región petrolífera. Por último, en el colmo de la exageración, llegó á decirse que un volcán se estaba formando allí, y se designó impropriamente con el nombre de "Cráter Pearson" á lo que es solamente un hundimiento del terreno.

El incendio del pozo Dos Bocas concluyó al comenzar el régimen intermitente del pozo, que fué cuando comenzó también á brotar agua caliente y salada, acompañada de grandes cantidades de anhídrido carbónico y de hidrógeno sulfurado. Todos los medios empleados para extinguir este incendio, fueron tan impotentes como inútiles.

El incendio no se propagó por los alrededores del pozo; y casi nada sufrió la vegetación en ese lugar, como puede verse en las láminas V, VI, XIII, XIV, XV, XX, XXIII y XXIV.

Las grandes cantidades de chapopote y arcilla que han salido por el pozo de que me ocupo, dejaron en el subsuelo cavidades, que al cerrarse produjeron grietas

y hundimientos del terreno. A estos últimos es debida la formación alrededor del pozo Dos Bocas de una gran depresión, que en Noviembre de 1908 tenía una forma más ó menos circular de 300 metros de diámetro aproximadamente, y de profundidad desconocida. Esta depresión está llena de agua, y es la que yo designo con el nombre de hundido de San Diego de la Mar; porque es enteramente impropio llamarla cráter, pues la formación de esa cavidad no está en relación alguna con el volcanismo.

En la parte central del hundido anterior, desde que concluyó el incendio á fines de Agosto de 1908 hasta ahora, se verifican emisiones violentas é intermitentes de agua salada, caliente y gaseosa, acompañada de grandes cantidades de anhídrido carbónico é hidrógeno sulfurado, gases que se encuentran también en disolución en esa agua.

En cada serie de emisiones en el hundido mencionado brotan, según cálculos, entre cien y trescientos metros cúbicos de agua, á la temperatura de  $69^{\circ}$  C., lo cual da como gasto medio de agua salada sobre 0.6 metros cúbicos por segundo. Al brotar el agua se produce un oleaje bastante fuerte en el hundido de San Diego de la Mar, y este oleaje al golpear contra las paredes del hundido, las mina á la altura que alcanza el agua dentro de la misma depresión. Entonces, el terreno falto de apoyo comienza á agrietarse en la superficie y después se derrumban grandes pedazos, que al caer en el hundido aumenta la superficie superior de este último. Así, el hundido San Diego de la Mar va ganando en superficie lo que pierde en profundidad.

El agua que brota en el hundido anterior tiene en

suspensión como cincuenta gramos de arcilla por litro, arcilla que se deposita en la ciénaga que se halla al Oriente del hundido mencionado (láms. V y VI). Además, esta agua sirve de vehículo al chapopote que encuentra diseminado en su trayecto, al cual eleva hasta la superficie del terreno.

Cada metro cúbico de agua al brotar en el hundido San Diego de la Mar está acompañado en su emisión aproximadamente por 47.4 metros cúbicos de anhídrido carbónico, y por 14.7 metros cúbicos de hidrógeno sulfurado; lo cual hace una producción de gases por segundo aproximadamente de 28.44 metros cúbicos de anhídrido carbónico, y 8.82 metros cúbicos de hidrógeno sulfurado. Estos datos pueden servir para dar una idea de la magnitud y majestuosidad de los fenómenos ocurridos en el pozo Dos Bocas, durante el período de su régimen intermitente.

El chapopote no ha sido captado (láms. XX, XXI, XXII y XXVI), sino que ha seguido en la superficie del terreno el mismo trayecto que el agua hasta caer en la laguna de Tamiahua. En esta laguna se ha reunido formando pequeñas planchas, las cuales están á merced de los vientos que soplan del Norte; y son tan pequeñas, que comparadas con la superficie total de la laguna puede decirse que son imperceptibles, casi nulas.

La producción media aproximada de chapopote á fines de Noviembre de 1908 en el pozo Dos Bocas, era de trescientos á cuatrocientos barriles diarios, producción que irá disminuyendo poco á poco.

Los únicos gases nocivos ó venenosos que se encuentran en la atmósfera cercana del pozo Dos Bocas, son: el anhídrido carbónico (ácido carbónico), el hidrógeno



sulfurado (ácido sulfhídrico); y muy pequeñas cantidades de anhídrido sulfuroso (ácido sulfuroso), y de ácido sulfúrico. No hay otras substancias anormales en la atmósfera que rodea al pozo Dos Bocas, ni se hallan allí carburos de hidrógeno gaseosos.

Los gases nocivos anteriores se encuentran en unas partes en cantidades que hacen á la atmósfera malsana, y en otras mortal.

La zona de peligro alrededor del pozo Dos Bocas, es circular, de quinientos metros de radio actualmente; y en esta zona la atmósfera es más venenosa á medida que es más pequeña la distancia al pozo Dos Bocas. La zona anterior se irá reduciendo poco á poco, á medida que vayan siendo más tardías las emisiones en el hundido de San Diego de la Mar.

La acción nociva de los gases mencionados es insignificante ó nula en lugares situados á regular distancia del pozo referido.

La zona de peligro anterior, no es de peligro de muerte toda ella, en todas partes, durante todo el día, sino que el lugar de peligro eminente va variando dentro de esa zona con los cambios en la dirección del viento; pero dentro de la misma zona la atmósfera es siempre malsana cuando no es mortal, cualquiera que sea la hora del día y la dirección del viento.

A la gran sensibilidad del olfato para el hidrógeno sulfurado, es debido el que se haya notado la presencia de este gas en la atmósfera, en lugares situados á 90 kilómetros de distancia del pozo Dos Bocas.

Dentro de la zona de peligro ya limitada, respirando el aire que acaba de pasar por el hundido San Diego de la Mar, se experimentan desde luego los efectos nocivos

de los gases mencionados. Se siente debilidad general, duele la cabeza y á veces el estómago, se percibe un sabor dulce bastante fuerte, después comienza la tos, y luego se pierde el conocimiento y se ocasiona la asfixia. Además, se lastiman los ojos, la nariz y la laringe.

La acción nociva de los gases mencionados se evita dentro de la zona de peligro, cubriéndose la nariz y la boca con lienzos humedecidos con soluciones diluídas de sales de cobre amoniacales; y fuera de la zona de peligro se purifica la atmósfera, fijando con cal al anhídrido carbónico y al hidrógeno sulfurado.

La gran cantidad de los gases ya mencionados, que acompañan á la agua en su emisión en el hundido San Diego de la Mar, es la causa de todos los fenómenos ocurridos en el pozo Dos Bocas, del ascenso del agua, y del régimen intermitente de ese pozo.

La temperatura de 69° C. que tiene el agua del hundido mencionado, es debida á la profundidad de la cual proviene esa agua, y que es aproximadamente de mil trescientos cincuenta metros.

Los gases que acompañan á la agua en su emisión por el pozo Dos Bocas, son debidos á la acción reductora de los carburos de hidrógeno sobre el sulfato de cal contenido en esa agua salada, el cual es reducido á sulfuro de calcio con formación de anhídrido carbónico. Este último ataca al sulfuro de calcio, y se forma carbonato de cal é hidrógeno sulfurado, quedando en equilibrio dinámico-químico estos dos últimos compuestos, con el sulfuro de calcio y el anhídrido carbónico.

La gravedad por una parte tiende á restablecer la estabilidad del terreno, alterada por la salida de grandes cantidades de chapopote y arcilla que dejaron ca-

vidades vacías en el subsuelo, las cuales al cerrarse obstruyen en parte el trayecto que siguen las aguas termales en su circulación subterránea ascendente. Por otra parte, la fuerza elástica de los gases aprisionados en gran cantidad en esas aguas, tiende á vencer á la gravedad, salvando los obstáculos y resistencias debidos á los hundimientos del terreno. La gravedad continuará su trabajo de restablecimiento de la estabilidad del terreno, lo cual traerá como consecuencia la obstrucción más ó menos completa del trayecto que sigue el agua en su circulación subterránea; y como la cantidad de gases aprisionados en el agua va disminuyendo poco á poco á medida que van saliendo éstos al exterior, llegará el momento en que la gravedad vencerá definitivamente á la fuerza elástica de los gases. Entonces, cuando haya salido la mayor parte de los gases acumulados durante un largo período de tiempo, las emisiones en el hundido San Diego de la Mar irán siendo cada vez más tardías, hasta que terminen por completo; y con ellas concluirán también todos los fenómenos que han ocurrido en el pozo Dos Bocas, durante sus distintos períodos de emisiones.

Como se ve por lo anterior, ninguno de los fenómenos ocurridos en el pozo Dos Bocas está relacionado con el volcanismo; y no hay necesidad de recurrir á la intervención de vapores volcánicos, para explicar las emisiones intermitentes é impetuosas que ocurren actualmente en el pozo mencionado.

El pozo Dos Bocas no está ocasionando ahora ningún perjuicio á la pesca ni á la navegación por el río Carbal ó por la laguna de Tamiahua. Sin embargo, como es divergente el trayecto del agua por la ciénaga de San

Diego de la Mar, es necesario que no se abandonen las obras de desviación de la corriente de esa agua, cuidando de que ésta se dirija siempre hacia el lugar llamado Dos Bocas, y no por el río Carbajal. (Lámina XXVII).

Para captar el chapopote se han hecho dos obras. La primera fué un dique, levantado muy cerca del pozo Dos Bocas (lám. XXIII), el cual se rompió unas horas después de concluído (lám. XXIV), y que por lo tanto no sirvió para la captación del chapopote. La segunda obra es un puente sobre pilotes (lám. XXV), que en Noviembre de 1908 aun no estaba concluído.

Las planchas de chapopote que se encuentran en la laguna de Tamiahua no son un peligro de incendio, por que ese chapopote sólo puede inflamarse á temperatura elevada. 200° C.

Para evitar por completo los perjuicios ocasionados por los gases que se desprenden en el hundido San Diego de la Mar, ninguna obra se ha hecho, y ninguna deberá hacerse; pues cualquier medio artificial para evitar esas emisiones de agua y gases sería impotente, y por lo mismo inútil.

Los efectos nocivos de los gases mencionados pueden evitarse tomando las precauciones antes indicadas.

El temor de que pueda incendiarse otra vez el pozo Dos Bocas me parece completamente infundado; porque ese chapopote ya no sale acompañado de hidrocarburos gaseosos, se inflama á una temperatura elevada, 200° C.; y en la atmósfera que rodea á ese pozo hay gran cantidad de anhídrido carbónico, el cual impide la combustión, y por esto se le emplea como extinguidor de incendio.

Conviene continuar las obras de captación del chapopote, porque así se impedirá que siga cayendo esa substancia en la laguna de Tamiahua; y también conviene continuarlas, porque tienen además por objeto impedir que la corriente de agua lodosa se dirija del hundido San Diego de la Mar para el río Carbajal, y así se evita el azolve de esta vía fluvial. Por otra parte, no hay inconveniente en que los trabajadores penetren á la zona de peligro antes limitada, siempre que lo hagan con las precauciones ya indicadas.

Hacer otras obras en el hundido anterior para explotación del petróleo sería completamente inútil; pero en cambio, debe recomendarse continúe con actividad la exploración de toda esa parte Norte de la región petrolífera que he llamado de Tuxpan; exploración que debe hacerse con multitud de precauciones, para evitar por una parte el derroche de uno de los recursos naturales de grandísima importancia para México, y para evitar también la pérdida completa de los grandes capitales que es necesario invertir en esa clase de empresas.

En los alrededores de San Diego de la Mar no deberán emplearse por ahora pinturas hechas con compuestos de plomo ó cobre, porque se ennegrecen; pero sí pueden usarse el blanco de zinc y los compuestos colorantes de fierro.

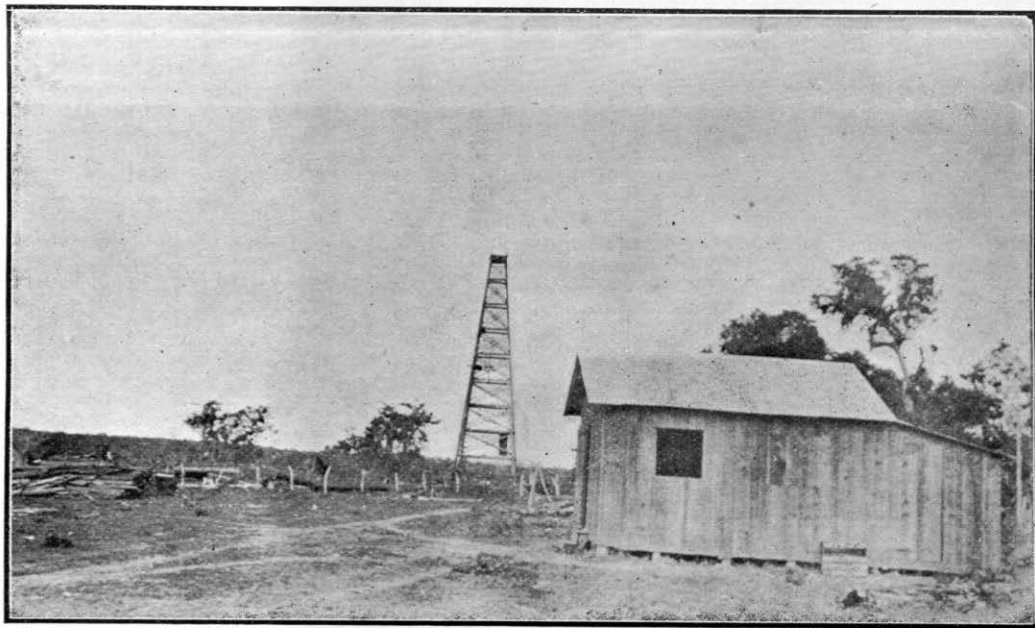
Para concluir debo decir que: tanto los capitalistas como los trabajadores pueden ir á toda esa región á explorar el petróleo del subsuelo, sin preocuparse de los fenómenos pasajeros producidos por unos gases, de los cuales su acción nociva sobre el organismo puede evitarse en caso necesario con gran facilidad. En efecto, estoy seguro de que empleando las precauciones ya in-

dicadas, pronto pasará al olvido el nombre de región mortífera, exageradamente aplicado á toda esa zona, y de esta manera se salvará aquella región de la muerte comercial.

Por último, los habitantes de los Cantones de Ozuluma, Tantoyuca y Tuxpan, del Estado de Veracruz, pueden estar enteramente tranquilos; porque si los fenómenos ocurridos en el pozo Dos Bocas han sido de gran magnitud y verdaderamente imponentes, ninguno de ellos está en relación con el volcanismo, y no hay motivo para temer catástrofes de esta naturaleza en aquella región.

México, Febrero de 1909.

Parergones, T. III, núm. 1.—Instituto Geológico de México.—Lámina I.



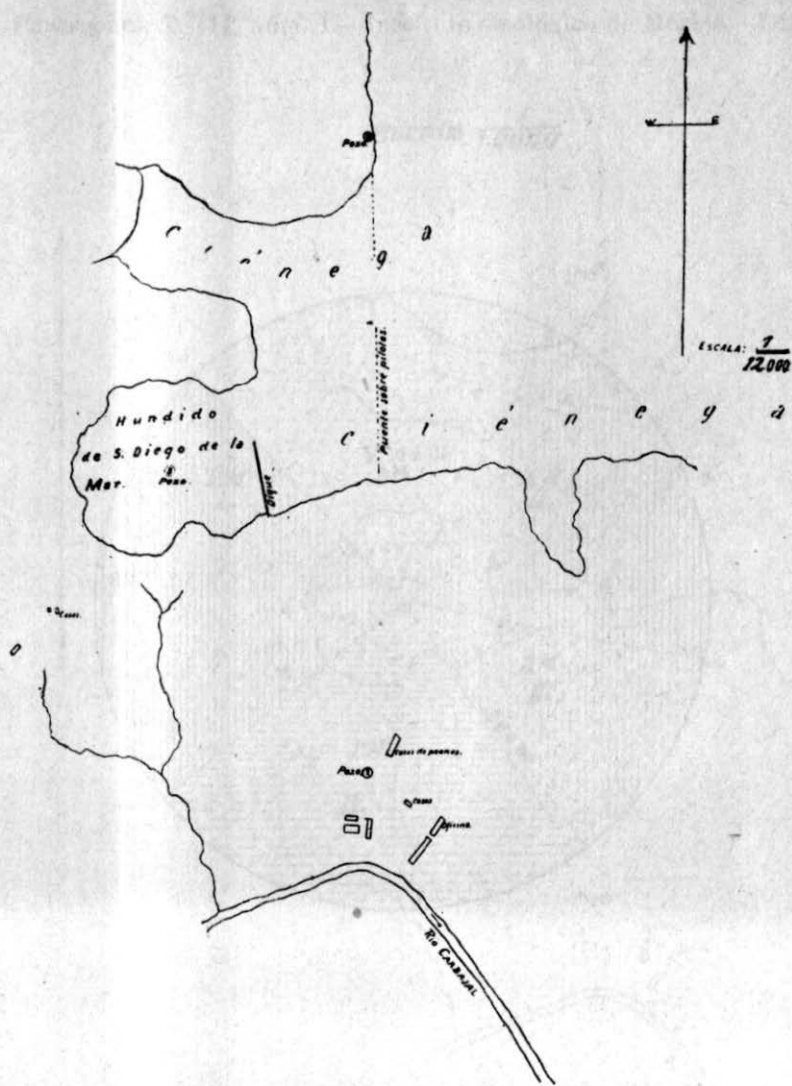
Fozo 2 de San Diego de la Mar





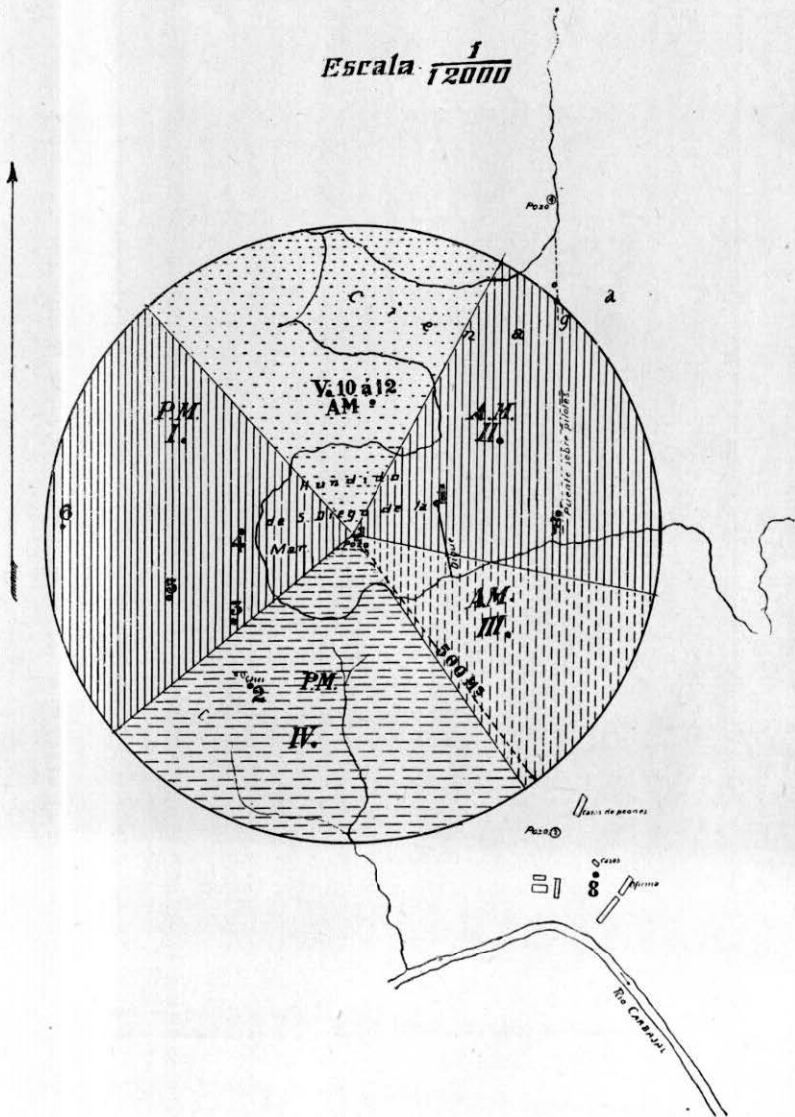






Plano de la región de San Diego de la Mar

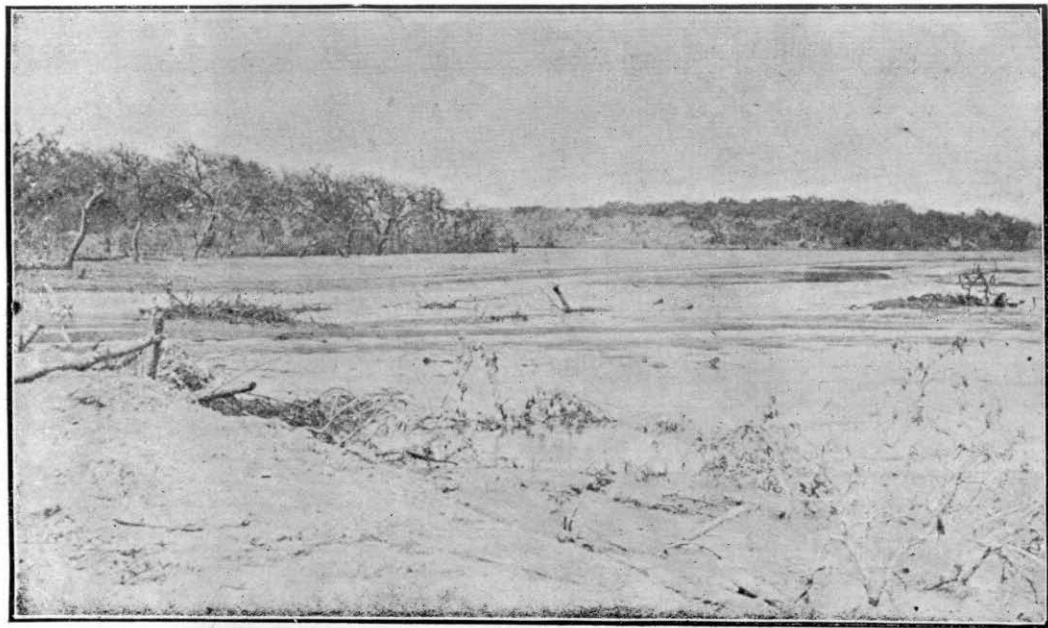




Zona de peligro alrededor del pozo Dos Bocas



Parergones, T. III, núm. 1.—Instituto Geológico de México.—Lámina V.

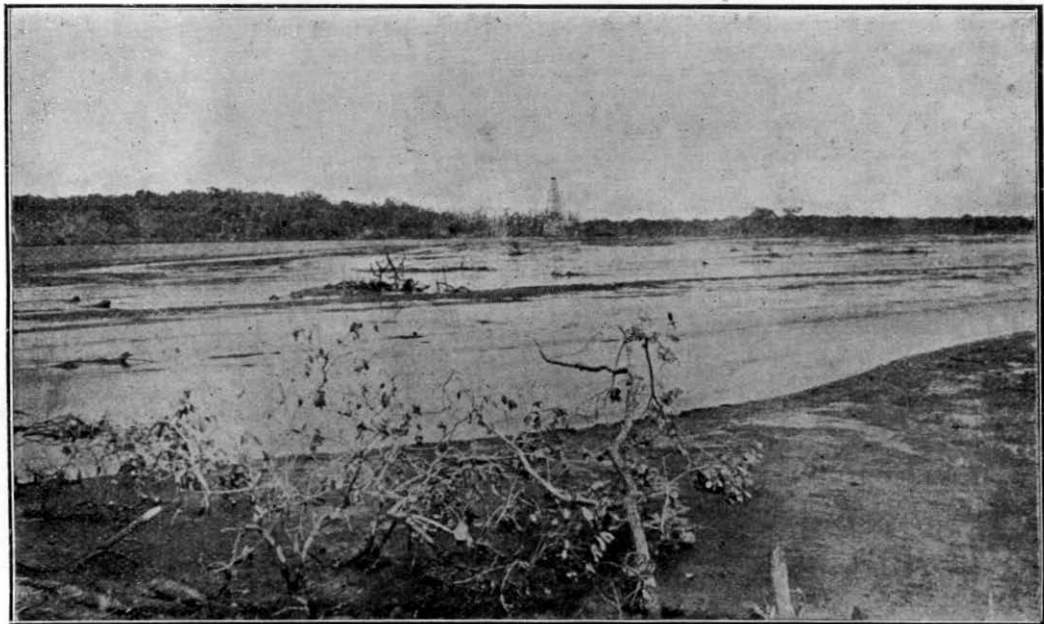


Ciénaga de San Diego de la Mar

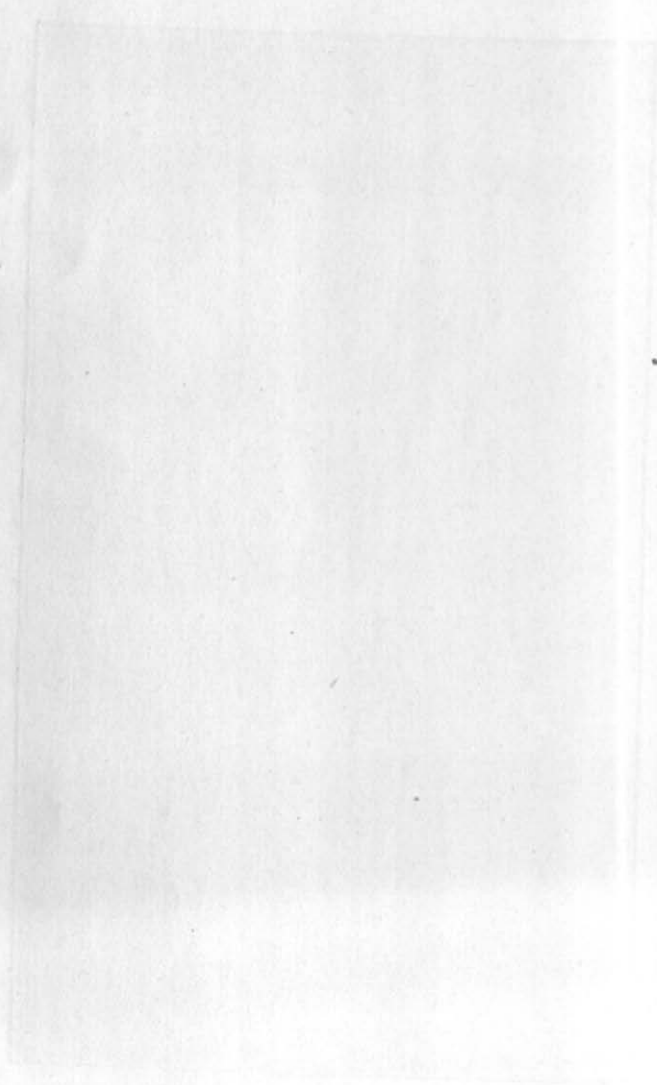




Parergones, T. III, núm. 1.—Instituto Geológico de México.—Lámina VI.

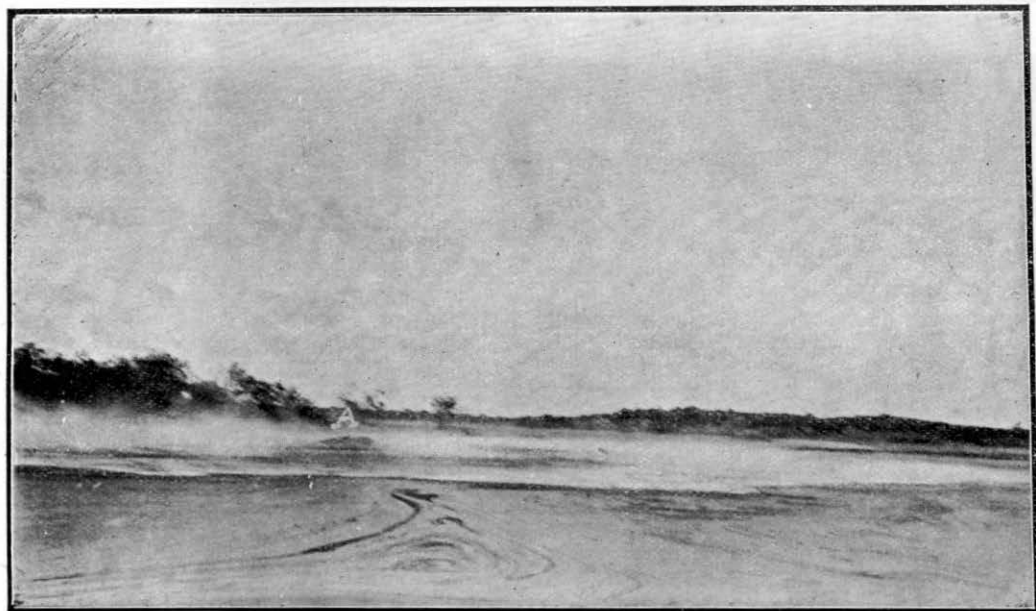


Parte Norte de la ciénaga de San Diego de la Mar



THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

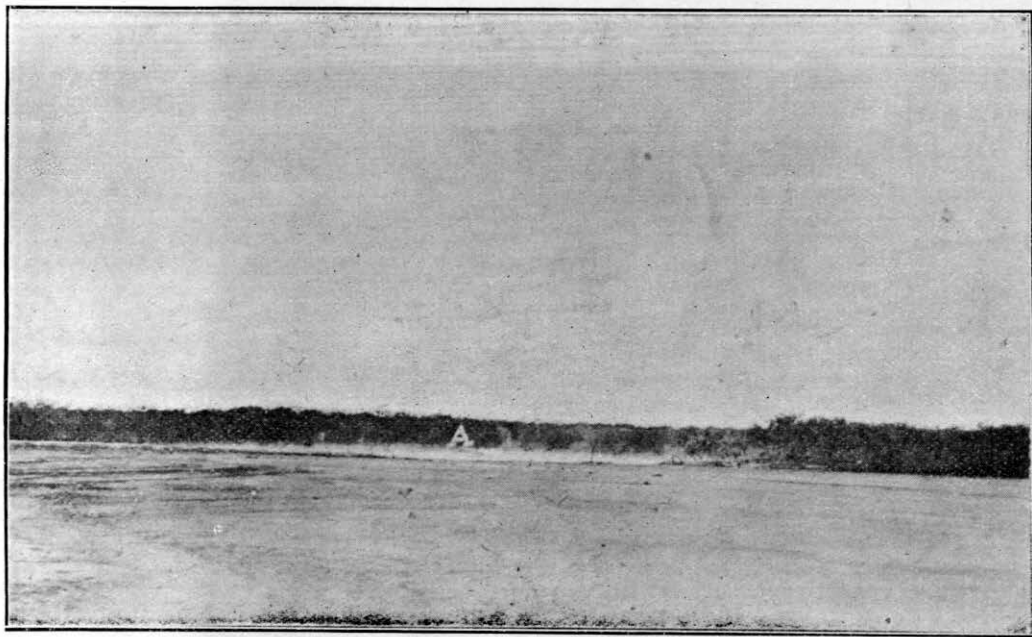
Parergones, T. III, núm. 1.—Instituto Geológico de México.—Lámina VII.



Primeros momentos de las emisiones periódicas del pozo  
Dos Bocas



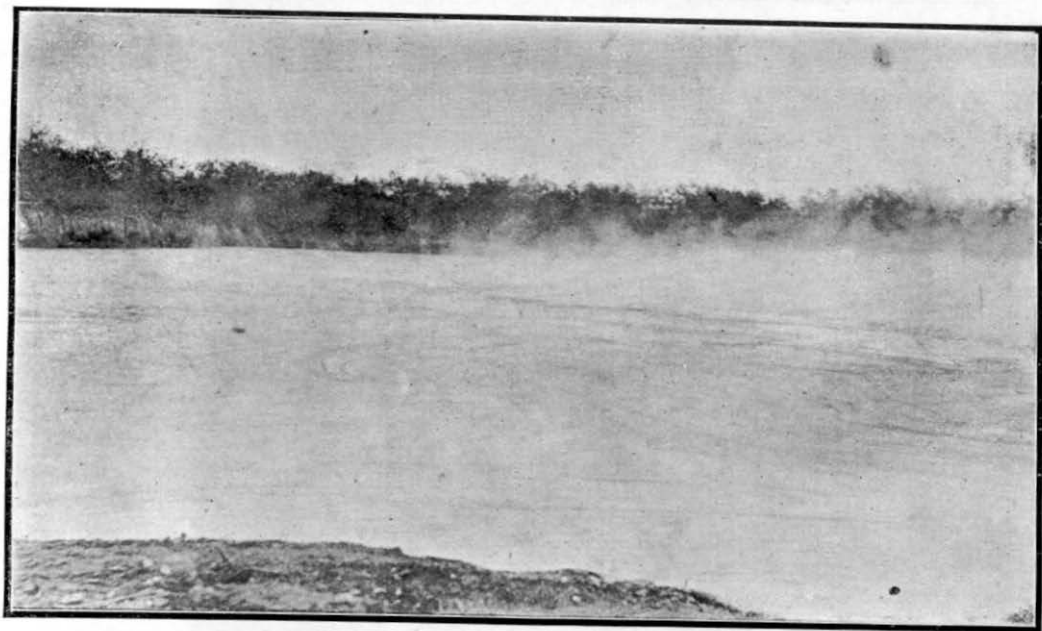
Parergones, T. III, núm. 1.—Instituto Geológico de México.—Lámina VIII.



Primeros momentos de las emisiones periódicas del pozo  
Dos Bocas



Parergones, T. III, núm. 1.—Instituto Geológico de México.—Lámina IX.



Hundido San Diego de la Mar. (Lleno de agua grasosa.)





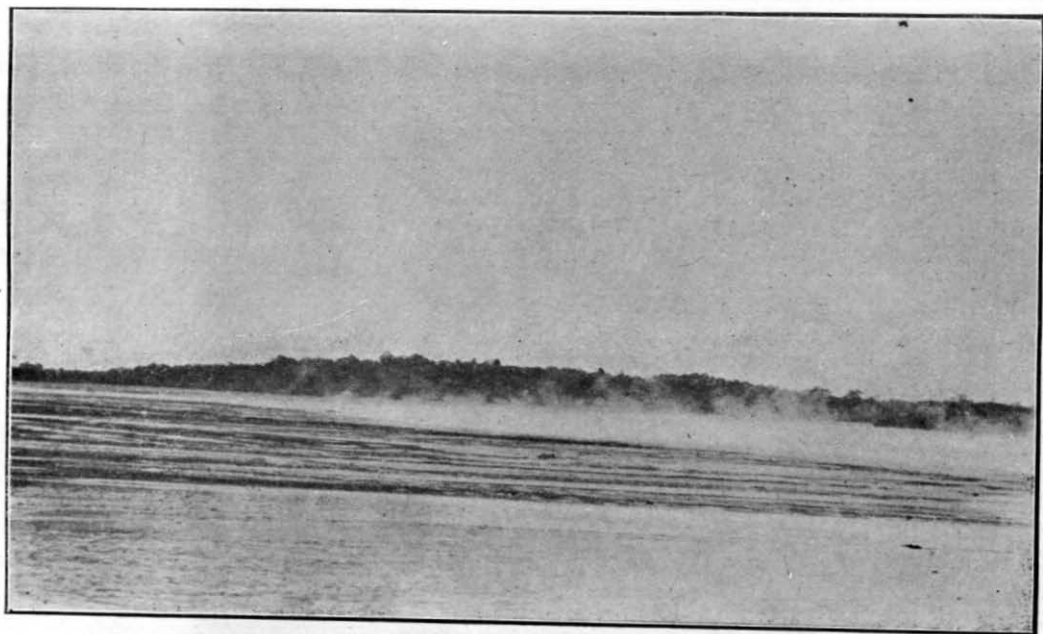
Parergones, T. III, núm. 1.—Instituto Geológico de México.—Lámina X.



Emisión de chapopote, agua, vapor y gases en el pozo  
Dos Bocas (7 a. m.)



Parergones, T. III, núm. 1.—Instituto Geológico de México.—Lámina XI.



Emisión de chapopote, agua, vapor y gases en el pozo  
Dos Bocas (11 a. m.)



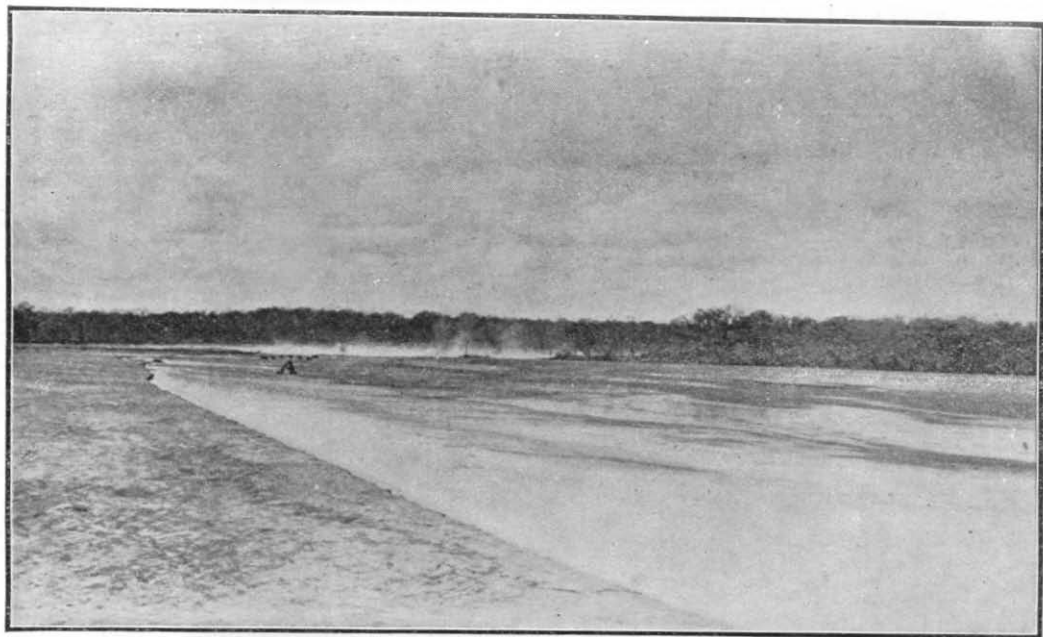
Parergones, T. III, núm. 1.—Instituto Geológico de México.—Lámina XII.



Pozo Dos Bocas en un período de actividad



Parergones, T. III, núm. 1.—Instituto Geológico de México.—Lámina XIII.

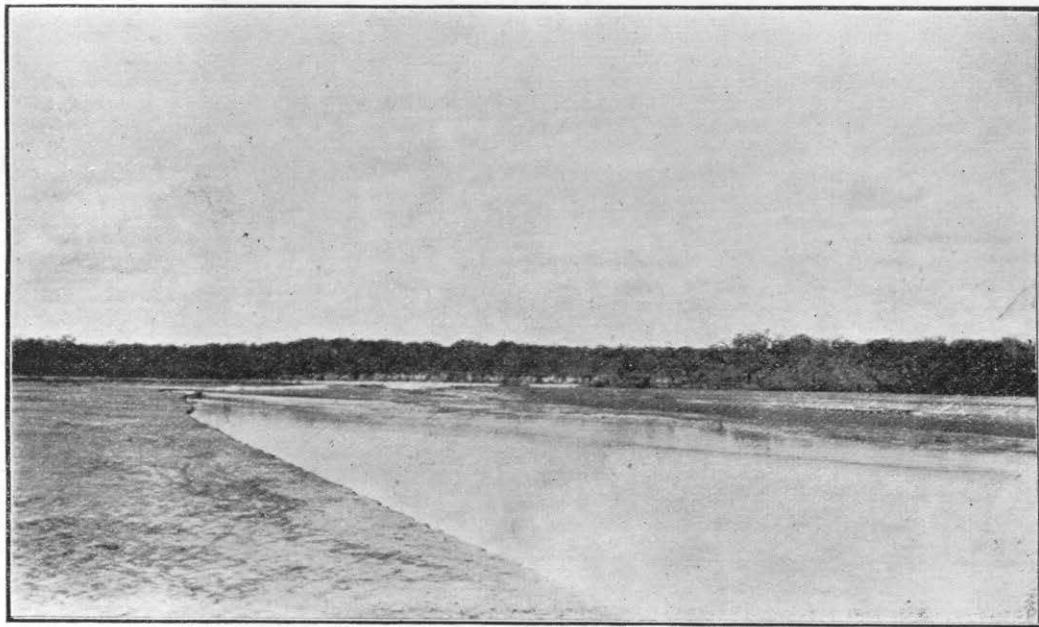


Arroyo por donde pasan el agua y el chapopote, que salen  
por el pozo Dos Bocas



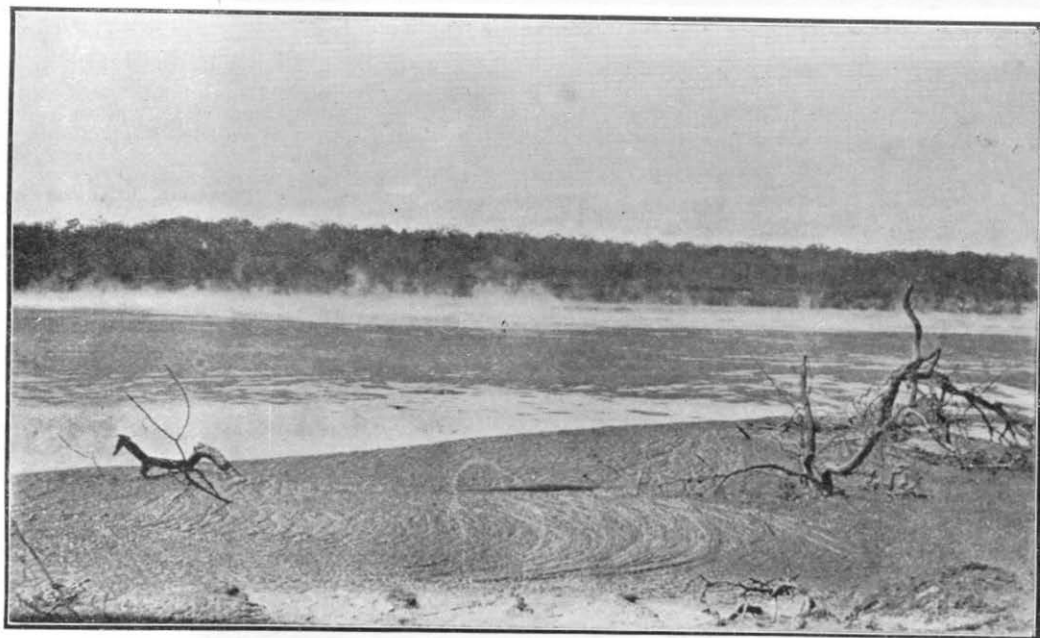


Parergones, T. III, núm. 1.—Instituto Geológico de México.—Lámina XIV.



Período de calma del pozo Dos Bocas

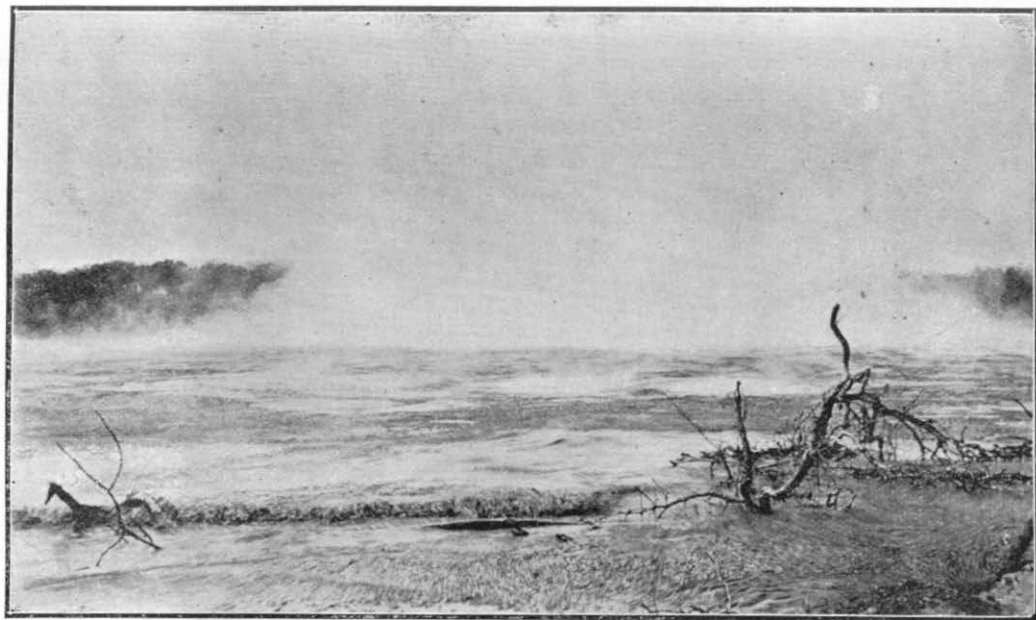




Chapopote flotando en el agua del Hundido  
San Diego de la Mar



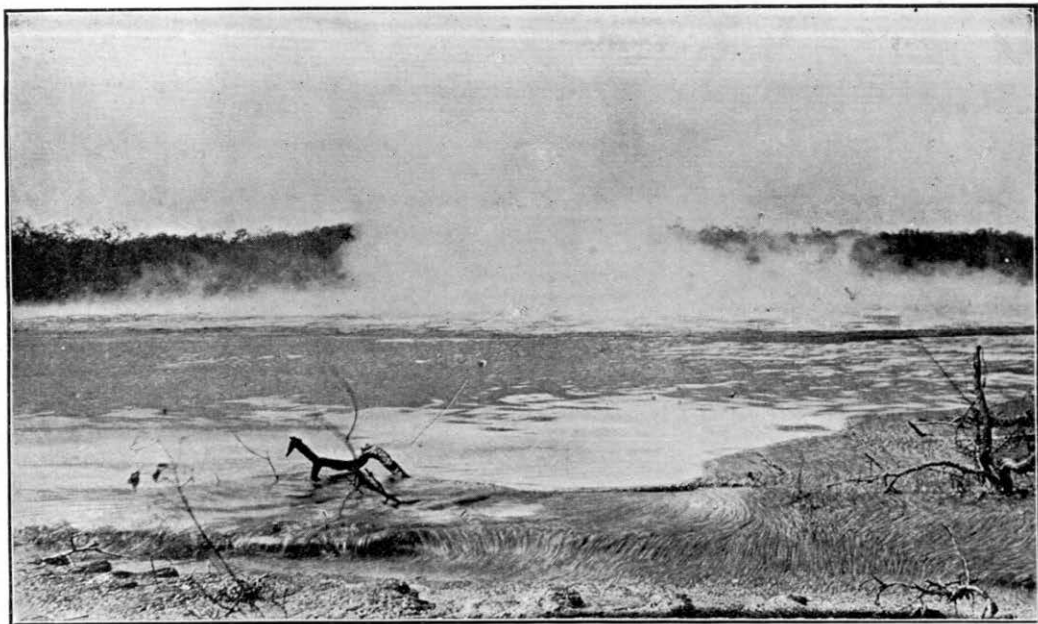
Parergones, T. III, núm. 1.—Instituto Geológico de México.—Lámina XVI.



Emisión de agua, vapor, gases y chapopote, en el pozo  
Dos Bocas



Parergones, T. III, núm. 1.—Instituto Geológico de México.—Lámina XVII.

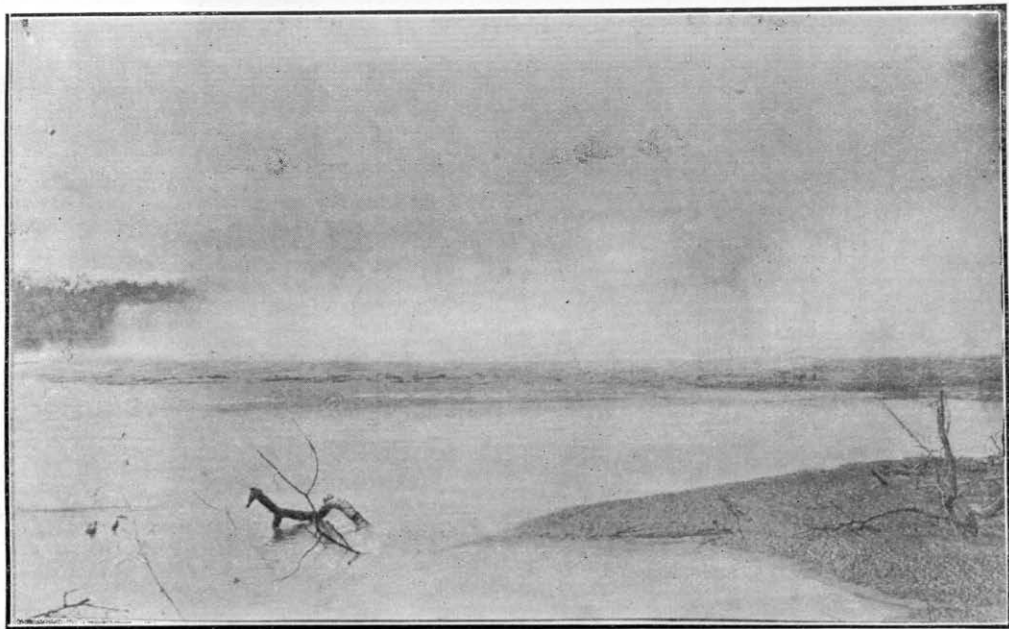


Emisión de agua, vapor y gases sin chapopote, en el pozo  
Dos Bocas





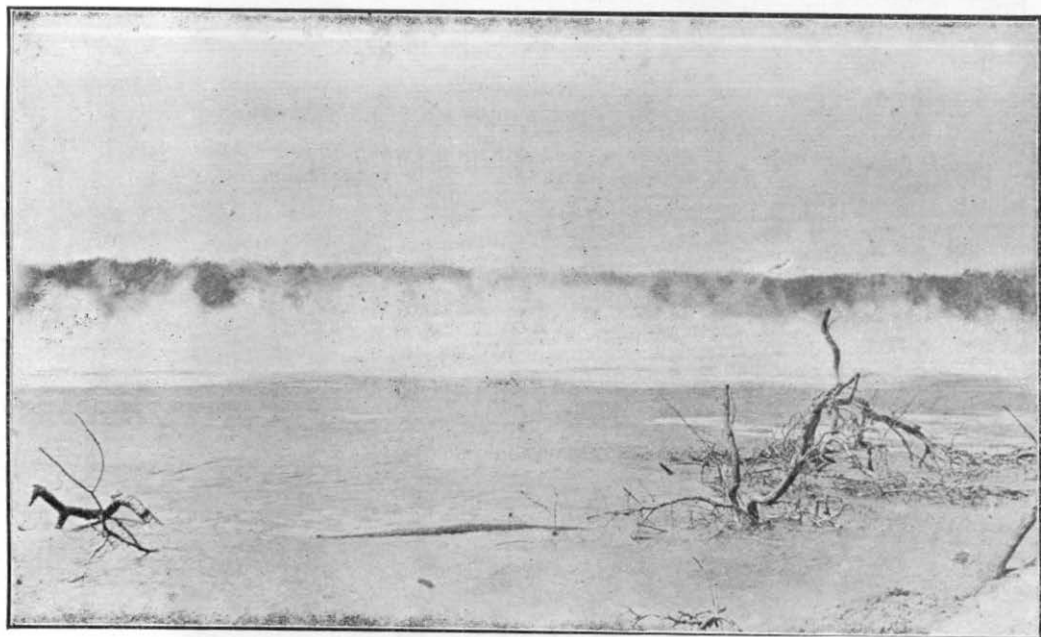
Parergones, T. III, núm. 1.—Instituto Geológico de México.—Lámina XVIII.



Emisión de agua, vapor, gases y poco chapopote, en el pozo  
Dos Bocas



Parergones, T. III, núm. 1.—Instituto Geológico de México.—Lámina XIX.

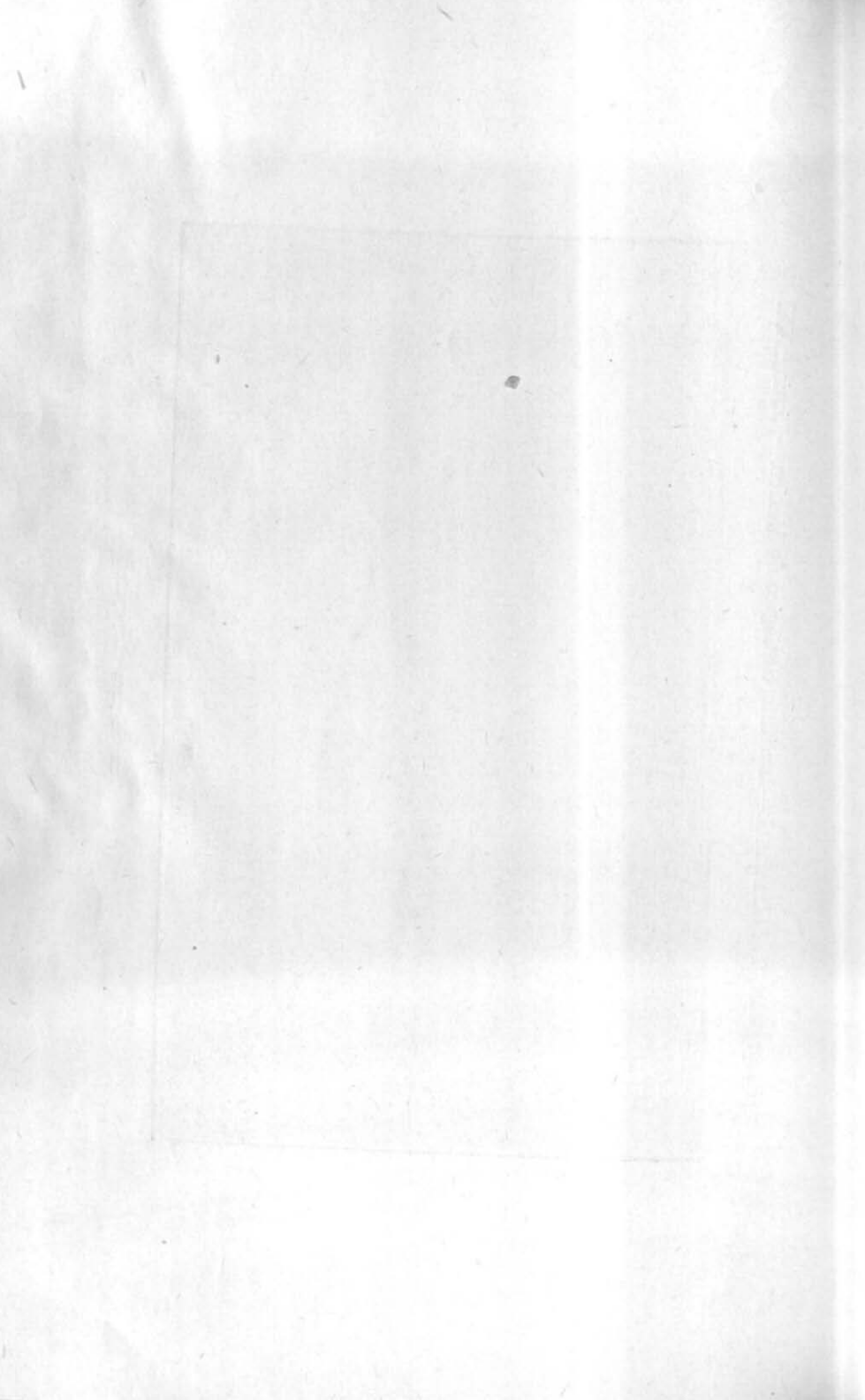


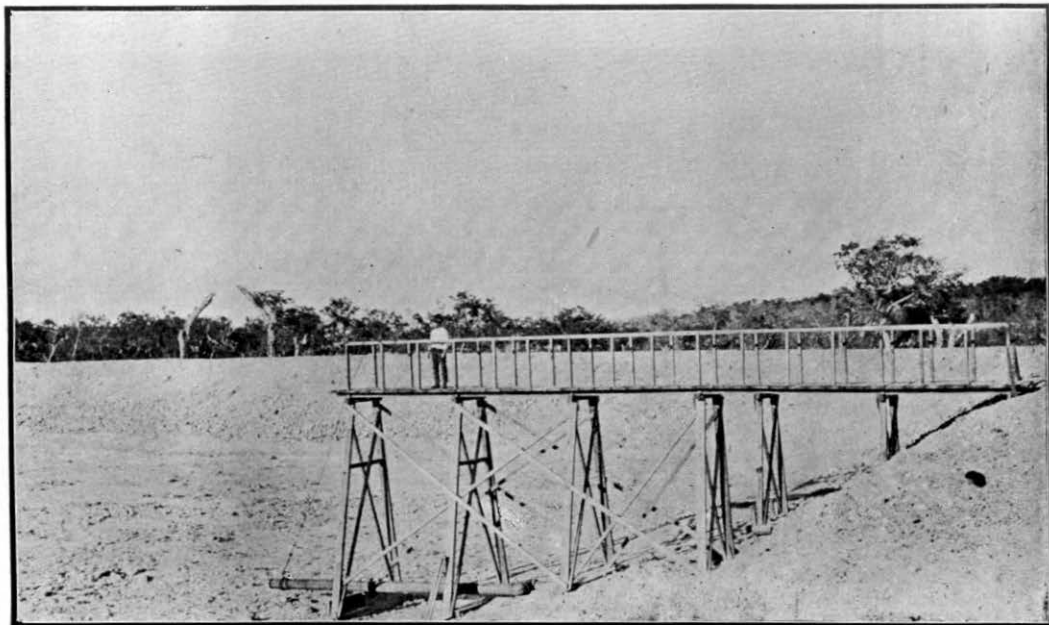
Pequeña cantidad de chapopote flotando en el agua  
del Hundido San Diego de la Mar





Tanque para chapopote

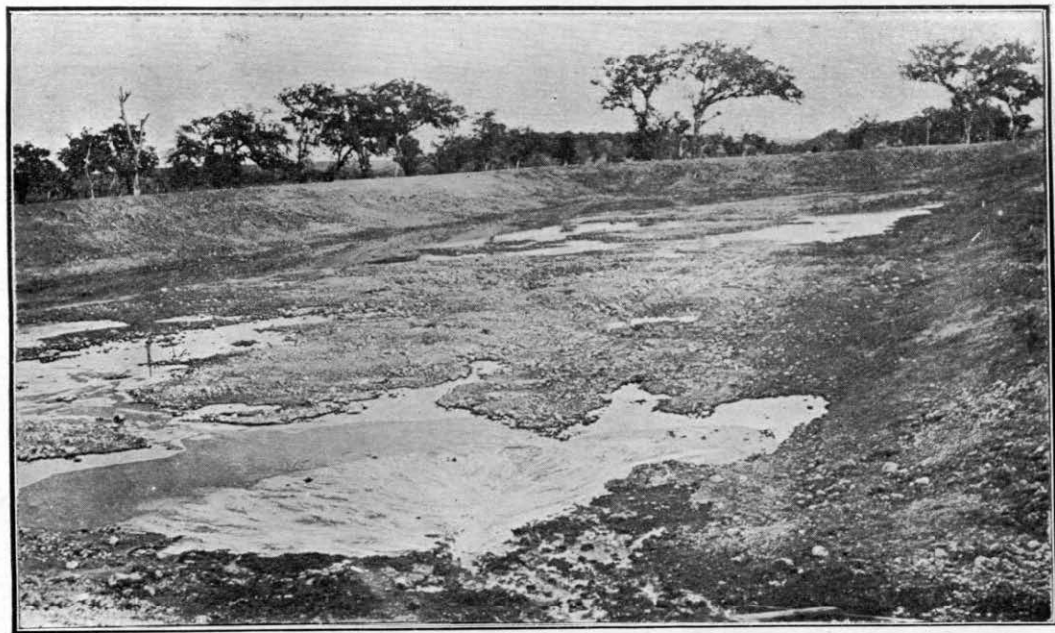




Parte oriental del tanque anterior. (Fig. núm. 20.)



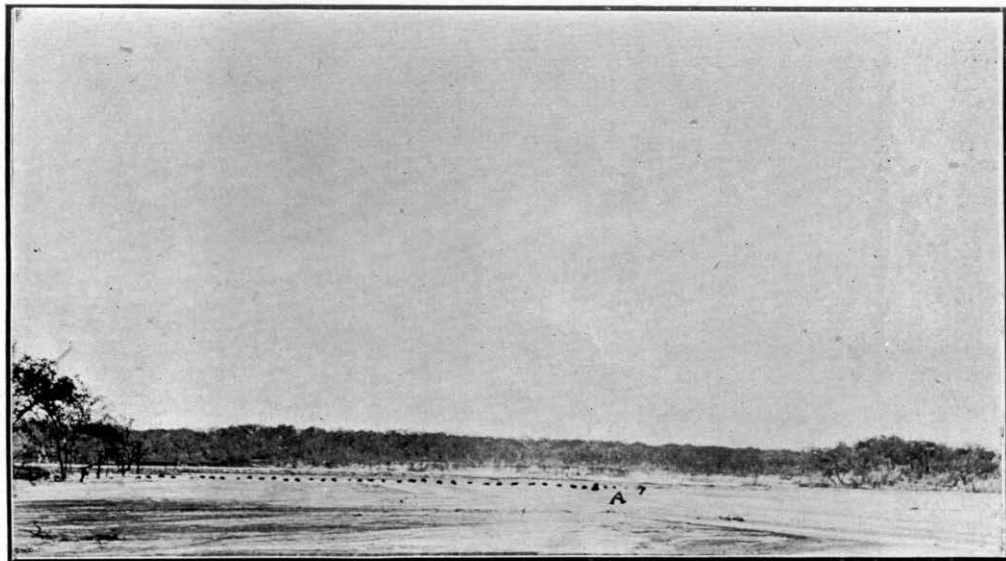




Tanque para chapopote



Parergones, T. III, núm. 1.—Instituto Geológico de México.—Lámina XXIII.



Dique construído por el Batallón de Zapadores

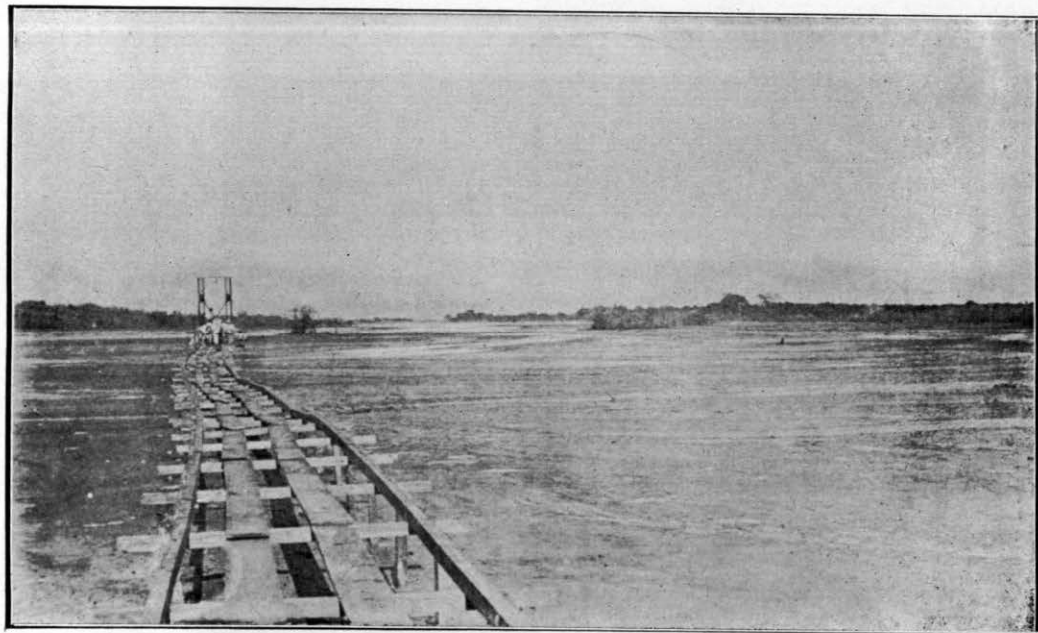




Brecha abierta en el dique anterior. (Fig. núm. 23.)



Parergones, T. III, núm. 1.—Instituto Geológico de México.—Lámina XXV.

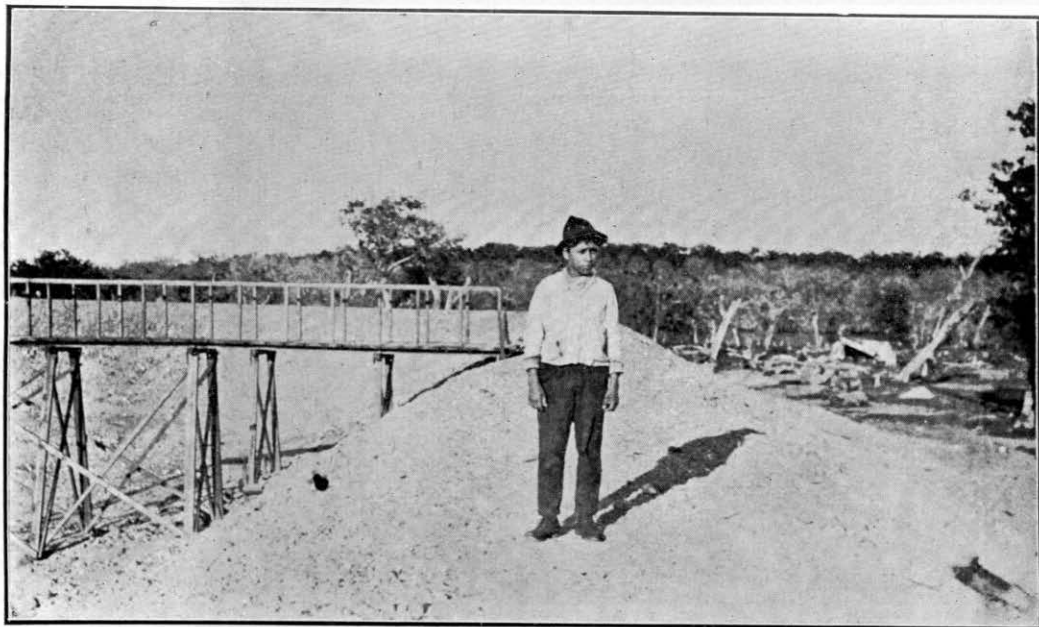


Puente sobre pilotes en la ciénaga de San Diego de la Mar





Parergones, T. III, núm. 1.—Instituto Geológico de México.—Lámina XXVI.



Extremo de un tanque para chapopote



